



TUGAS AKHIR – ME 141501

**RANCANGAN *BALLAST WATER TREATMENT SYSTEM (BWTS)* PADA
KAPAL GAS CARRIER ARIMBI**

I Putu Dewangga Putra Bendesa
NRP. 04211240000118

Dosen Pembimbing :
Ir.Agoes Santoso,M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



FINAL PROJECT – ME 141501

BALLAST WATER TREATMENT SYSTEM (BWTS) DESIGN FOR GAS CARRIER SHIP ARIMBI

I Putu Dewangga Putra Bendesa
NRP. 04211240000118

Advisor :
Ir. Agoes Santoso, M.Sc.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

LEMBAR PENGESAHAN

**RANCANGAN *BALLAST WATER TREATMENT SYSTEM (BWTS)* PADA
KAPAL *GAS CARRIER* ARIMBI**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Bidang Studi *Marine Machinery and System (MMS)*

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

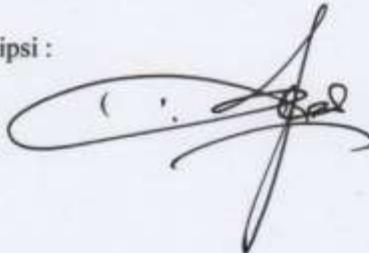
Oleh :

I Putu Dewangga Putra Bendesa

NRP : 04211240000118

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi :

1. Ir. Agoes Santoso, M.Sc.
1968 0928 1991 02 1001



**SURABAYA
JANUARI 2018**

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANGAN *BALLAST WATER TREATMENT SYSTEM (BWTS)* PADA KAPAL *GAS CARRIER* ARIMBI

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Bidang Studi *Marine Machinery and System (MMS)*

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

I Putu Dewangga Putra Bendesa

NRP : 04211240000118

"Kata-kata yang baik akan meninggalkan jejak"

Disetujui oleh :

Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 1977 0802 2008 01 1007

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

Pada laporan skripsi yang saya susun ini tidak terdapat tindakan plagiarisme, dan menyatakan dengan sukarela bahwa semua data, konsep, rancangan, bahan tulisan, dan materi yang ada di laporan tersebut adalah milik Laboratorium Marine Machinery and System (MMS) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS yang merupakan hasil studi penelitian dan berhak dipergunakan untuk pelaksanaan kegiatan-kegiatan penelitian lanjut dan pengembangannya.

Nama : I Putu Dewangga Putra Bendesa
NRP : 04211240000118
Judul Skripsi : Perancangan *Ballast Water Treatment System (BWTS)* Pada Kapal *Gas Carrier* ARIMBI
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS
Fakultas : Fakultas Teknologi Kelautan

Apabila di kemudian hari terbukti terdapat tindakan plagiarisme, maka saya akan bertanggung jawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang diberikan oleh ITS sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Surabaya, 4 Januari 2018

(I Putu Dewangga P.B.)

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

RANCANGAN *BALLAST WATER TREATMENT SYSTEM (BWTS)* PADA KAPAL GAS CARRIER ARIMBI

Nama Mahasiswa : I Putu Dewangga Putra Bendesa
NRP : 04211240000118
Dosen Pembimbing I : Ir.Agoes Santoso,M.Sc.

ABSTRAK

Seiring dengan berkembangnya export impor di dunia, mengakibatkan permintaan akan penggunaan jasa transportasi kapal semakin meningkat. Transportasi laut merupakan cara distribusi komoditi yang paling efektif dan ekonomis. Dengan semakin meningkatnya kegiatan distribusi menggunakan kapal, maka pertukaran air balas kapal juga semakin meningkat, dan sayangnya penyebaran berbagai macam spesies invasi seperti bakteri, mikroba, telur, dan larva dari berbagai macam jenis kehidupan di lautan juga semakin meningkat. Karena itulah *International Maritime Organization* (IMO) secara resmi mengesahkan BWM Convention yang mulai diberlakukan pada September 2017. Karena itulah, dalam tugas akhir ini dilakukan perancangan *Ballast Water Treatment System (BWTS)* pada kapal *Gas Carrier* ARIMBI, untuk memenuhi aturan yang diresmikan oleh IMO. Setelah pemilihan dari berbagai macam metode *treatment* yang tersedia, BWTS yang digunakan untuk kapal ARIMBI adalah kombinasi *treatment* dari 3 jenis metode, yaitu *Filtration*, *Ultraviolet Radiation*, dan *Photo-catalytic Oxidation*. Metode ini terpilih karena memiliki 3 tahap dalam pembasmian mikroorganisme berbahaya dalam air balas, sehingga hanya membutuhkan 1 kali proses pembersihan dan lebih banyak menghemat banyak waktu dan tenaga. Setelah itu, untuk menunjang pengoperasian unit BWTS pada kapal *gas carrier*, maka perlu dilakukan perhitungan ulang untuk tekanan pompa untuk memastikan apakah pompa yang sudah terpasang memiliki kapasitas yang cukup untuk pengoperasian sistem tambahan BWTS. Pada perhitungan yang telah dilakukan, ditemukan tekanan pompa yang dibutuhkan adalah 16.62 m, dengan debit air yang masih sama dengan pompa sebelumnya yaitu 350 m³/jam. Karena tekanan pompa yang dibutuhkan masih jauh lebih kecil dari tekanan pompa yang sudah terpasang, maka tidak perlu dilakukan pergantian pompa untuk pengoperasian BWTS.

Kata Kunci : *Ballast Water Treatment*, Invasi, BWTS, Pompa, *Gas Carrier*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BALLAST WATER TREATMENT SYSTEM (BWTS) DESIGN FOR GAS CARRIER SHIP ARIMBI

Student Name : I Putu Dewangga Putra Bendesa
Reg. Number : 04211240000118
Advisor I : Ir.Agoes Santoso,M.Sc.

ABSTRACT

Along with the progressing of import - export in the world, resulting in increasing demand for the use of ship transportation services. Sea transportation is the most effective and economical way of distributing commodities. With the increase in ship distribution activities, the water exchange of vessels is also increasing, and unfortunately the spread of various invasive species such as bacteria, microbes, eggs and larvae from various types of life in the oceans is also increasing. That is why the International Maritime Organization (IMO) officially endorsed the BWM Convention which came into effect in September 2017. Therefore, in this final project, the design of Ballast Water Treatment System (BWTS) on the ARIMBI Gas Carrier vessel, to meet the rules inaugurated by IMO. After the selection of various treatment methods available, BWTS used for ARIMBI vessels is a combination of treatment from 3 types of methods, namely Filtration, Ultraviolet Radiation, and Photo-catalytic Oxidation. This method is chosen because it has 3 stages in eradicating harmful microorganisms in water ballast, so it only takes 1 cleaning process and save much more time and effort. Thereafter, to support the operation of the BWTS unit on the carrier gas vessel, it is necessary to re-calculate the pump pressure to ascertain whether the installed pump has sufficient capacity for the operation of additional BWTS systems. After the calculation has been done, the required pump pressure is 16.62 m, with the same water debit with the previous pump that is 350 m³ / hour. Because the required pump pressure is still much smaller than the pump head that is already installed, there is no need for pump switching to operate the BWTS.

Keyword : *Ballast Water Treatment, Invasion, BWTS, Pump, Gas Carrier.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa saya curahkan kepada Ida Sang Hyang Widhi Wasa karena atas berkat-Nya lah penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Rancangan Ballast Water Treatment System (BWTS) pada Kapal Gas Carrier ARIMBI”**.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis mendapatkan banyak bantuan dan motivasi dari berbagai pihak dari awal pengerjaan hingga akhirnya terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segenap hati penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Papa dan Mama yang senantiasa memberikan bantuan baik dalam bentuk materi, motivasi, maupun doa. Saudara dan segenap keluarga yang selalu memberikan dorongan dan doa hingga terselesaikannya skripsi ini
2. Bapak Ir. Agoes Santoso, M.Sc. selaku dosen pembimbing skripsi. Terima kasih atas bimbingan dan nasehat yang bapak berikan selama pengerjaan skripsi ini
3. Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing. Terima kasih atas motivasi dan bantuan yang bapak berikan selama kuliah di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ini
4. Para rekan – rekan BISMARCK 12 yang telah banyak membantu selama kuliah di jurusan Teknik Sistem Perkapalan
5. Semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu-satu yang telah bersedia menemani saya untuk berdiskusi dan bertukar ide, gagasan dan pemikiran selama pengerjaan skripsi ini.

Akhir kata, penulis telah berusaha semaksimal mungkin dalam penyusunan skripsi ini. Penulis berharap kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Surabaya, 5 Januari 2018

Penulis

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN.....	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	2
TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 BWM Convention	3
2.1.1 Annex – Section B Persyaratan Pengelolaan dan Kontrol untuk Kapal ...	4
2.1.2 Annex – Section D Standar Manajemen Air Balas	5
2.2. Metode Ballast Water Treatment.....	7
2.2.1. Metode Kimia.....	7
2.2.2. Metode Mekanik.....	9
2.2.3. Metode Fisik.....	11
2.3 Ballast Water Treatment System	12
2.4 Kriteria Utama Pengolahan Air Ballast	14
METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1. Identifikasi Permasalahan.....	16
3.2. Studi Literatur dan Pengumpulan Data	16
3.3. Penentuan Metode Ballast Water Treatment	16
3.4. Validasi 1.....	16
3.5. Kombinasi (BWTS).....	16

3.6. Validasi 2.....	17
3.7. Analisa Data	17
3.8. Kesimpulan.....	17
ANALISA DATA	19
4.1 Data Kapal	19
4.1.1 General Arrangement	19
4.1.2 Ballast Diagram.....	20
4.1.3 Engine Room Layout.....	21
4.1.4 Gas Dangerous Zones.....	22
4.1.5 Safety Plan.....	24
4.1.6 Ballast Capacity.....	25
4.1.7 Pump Capacity.....	25
4.2 Pengumpulan Metode Ballast Water Treatment.....	25
4.2.1 Metode Ballast Water Treatment.....	27
4.2.2 Advanced Oxidation Process.....	29
.....	30
4.3 Spesifikasi BWTS yang Digunakan	30
4.4 Diagram Proses BWTS.....	31
4.5 Perhitungan Pompa.....	32
4.5.1 Penentuan Nilai Resistance Coefficient	32
4.5.2 Perhitungan Tekanan (Head) Pompa Balas	35
4.6 Lokasi BWTS	38
KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1. Kesimpulan.....	41
Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA.....	42
LAMPIRAN	45

DAFTAR GAMBAR

BAB I

Gambar 1.1. Gas Carrier ARIMBI

BAB II

Gambar 2.1. Penyebaran Organisme Melalui Air Balas.....	3
Gambar 2.2. Ilustrasi Penyebaran Spesies Invasi Dalam Air Balas	4
Gambar 2.3. <i>Ballast Water Record Book</i>	5
Gambar 2.4. Pertukaran Air Balas Ditengah Laut.....	6
Gambar 2.5. <i>Chlorine Dioxide</i>	7
Gambar 2.6. <i>Ozone Treatment Plant</i>	8
Gambar 2.7. Filter Air Balas	9
Gambar 2.8. Alat Proses <i>Hydrocyclone</i>	10
Gambar 2.9. Proses <i>Coagulation</i>	10
Gambar 2.10. Unit <i>UV Treatment</i>	11
Gambar 2.11. Proses Treatment pada Umumnya.....	13
Gambar 2.12. <i>Filtration and UV Treatment Plant</i>	13

BAB III

Gambar 3.1. Flow Chart Metodologi Penelitian.....	17
---	----

BAB IV

Gambar 4.1. <i>General Arrangement Kapal</i>	20
Gambar 4.2. <i>Ballast Diagram Kapal</i>	21
Gambar 4.3. <i>Engine Room Layout, Floor Plan</i>	22
Gambar 4.4. <i>Engine Room Layout, Platform</i>	22
Gambar 4.5. <i>Gas Dangerous Zones 1</i>	23
Gambar 4.6. <i>Gas Dangerous Zones 2</i>	24
Gambar 4.7. Pembagian Zona <i>Gas Dangerous Zones</i>	25
Gambar 4.8. Grafik Perbandingan Metode yang Biasa Digunakan.....	27
Gambar 4.9. Reaksi <i>Photo-Catalytic Film</i> untuk Pembasmian Mikroorganisme	29
Gambar 4.10. Contoh Unit BWTS <i>Ocean Doctor</i>	30
Gambar 4.11. Unit BWTS yang Digunakan.....	30
Gambar 4.12. Konfigurasi Sistem BWTS	31
Gambar 4.13. <i>Screen Basket Filter</i>	32
Gambar 4.14. Hasil Perhitungan Nilai K Filter Unit.....	33
Gambar 4.15. Aliran Air Dalam <i>Photo-Catalytic Unit</i>	34
Gambar 4.16. Hasil Perhitungan Nilai K untuk <i>Photo-Catalytic Unit</i>	34
Gambar 4.17. Lokasi Unit BWTS	39

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

BAB IV

Tabel 1. Data Tangki Balas Kapal.....	26
---------------------------------------	----

Tabel 2. Perbandingan Metode Treatment	28
Tabel 3. Hasil Penilaian Untuk Tiap Metode Ballast Treatment.....	28

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Semenjak diperkenalkannya kapal berbadan besi sekitar 120 tahun yang lalu, air telah banyak digunakan untuk menstabilkan kapal di laut. Air balas dipompa kedalam kapal untuk mempertahankan stabilitas kapal, mengurangi stress pada badan kapal, meningkatkan propulsi dan maneuver kapal, dan dapat mempertahankan tingkat keamanan beroperasi selama berlayar.

Walaupun air balas sangat penting dalam keamanan dan efisiensi selama berlayar, itu juga dapat merusak ekosistem dalam laut karena berbagai macam spesies laut yang dibawa oleh air balas. Spesies yang dimaksud seperti bakteri, mikroba, telur dan larva dari berbagai macam jenis kehidupan di lautan, dan beberapa dari spesies tersebut bisa bertahan hidup dan berkembang biak menjadi parasit pada ekosistem laut ditempat lain.

Masalah spesies invasi yang dibawa oleh air balas sebagian besar terjadi karena lalu lintas pelayaran semakin meningkat, seiring dengan berkembangnya perekonomian global. Dari berbagai data yang dikumpulkan, menunjukkan bahwa laju invasi biologis terus meningkat dan banyak daerah baru yang terkena dampaknya.

IMO telah menangani masalah Invasive Aquatic Species (IAS) sejak tahun 1980, ketika anggota organisasi tersebut mulai melaporkan berbagai permasalahan tentang IAS kepada Marine Environment Protection Committee (MEPC). Pedoman yang digunakan untuk mengatasi masalah tersebut dikeluarkan pada tahun 1991 dan IMO terus bekerja untuk mengembangkan Ballast Water Management Convention (BWM Convention), yang kemudian disetujui pada tahun 2004. BWM Convention akan mulai berlaku untuk semua kapal yang melakukan pelayaran internasional pada 8 September 2017.

Pada penelitian ini, akan dibuat sebuah rancangan *Ballast Water Treatment System* (BWTS) pada sebuah kapal gas carrier ARIMBI dengan DWT 4200 ton. Ukuran utama dari Gas Carrier ARIMBI adalah sebagai berikut :

LPP: 96 m

B : 18 m

H : 7 m

T : 5 m

Vs : 13 knot



Gambar 1.1 *Gas Carrier ARIMBI*

Kapal ini dipilih karena ukuran kapal yang relatif kecil, sehingga ruang yang bisa digunakan untuk peletakan sistem tidak terlalu banyak, dan masih banyak tantangan lain yang akan ditemui pada saat perancangan sistem. Rancangan dibuat dengan berbagai pertimbangan sehingga peletakan dan kinerja BWTS tidak akan mengganggu sistem lain yang sudah ada pada kapal gas carrier tersebut dan dapat memenuhi aturan yang ada pada BWM Convention.

1.2 Perumusan Masalah

Pada penelitian ini, permasalahan yang akan dianalisa adalah bagaimana rancangan BWTS yang optimal untuk kapal Gas Carrier ARIMBI dengan DWT 4200 ton, tanpa mengurangi kinerja sistem lain yang sudah ada.

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan lebih terfokuskan, maka perlu diberikan batasan masalah sebagai berikut :

- a) BWTS akan dirancang khusus untuk kapal *Gas Carrier ARIMBI* yang belum memiliki sistem tersebut.
- b) Analisa dilakukan pada segi teknis, namun tidak menganalisa segi ekonomis.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapat rancangan BWTS pada kapal Gas Carrier ARIMBI sehingga dapat memenuhi aturan BWM Convention..

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan diperoleh dari percobaan pada tugas akhir ini adalah :

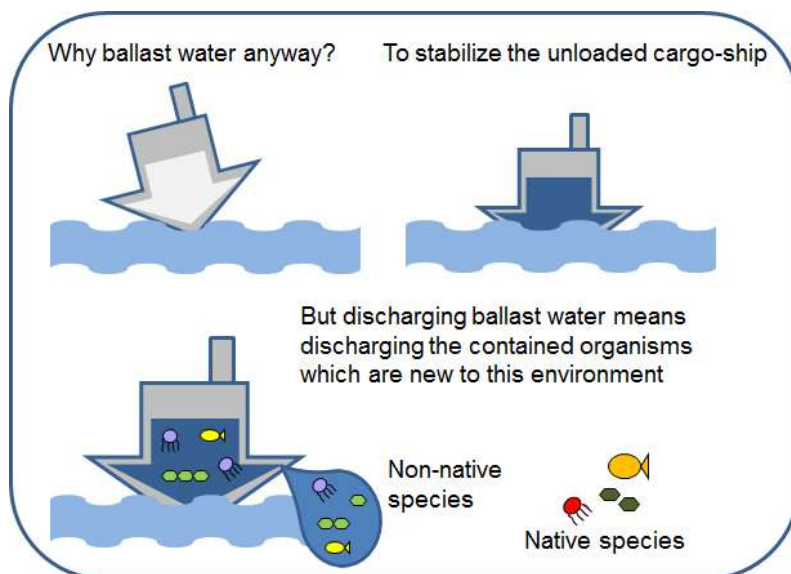
- a) Dapat membuat sebuah rancangan sistem BWTS yang bisa digunakan untuk kapal Gas Carrier
- b) Menjadi referensi dalam perancangan sistem BWTS untuk kapal yang sejenis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

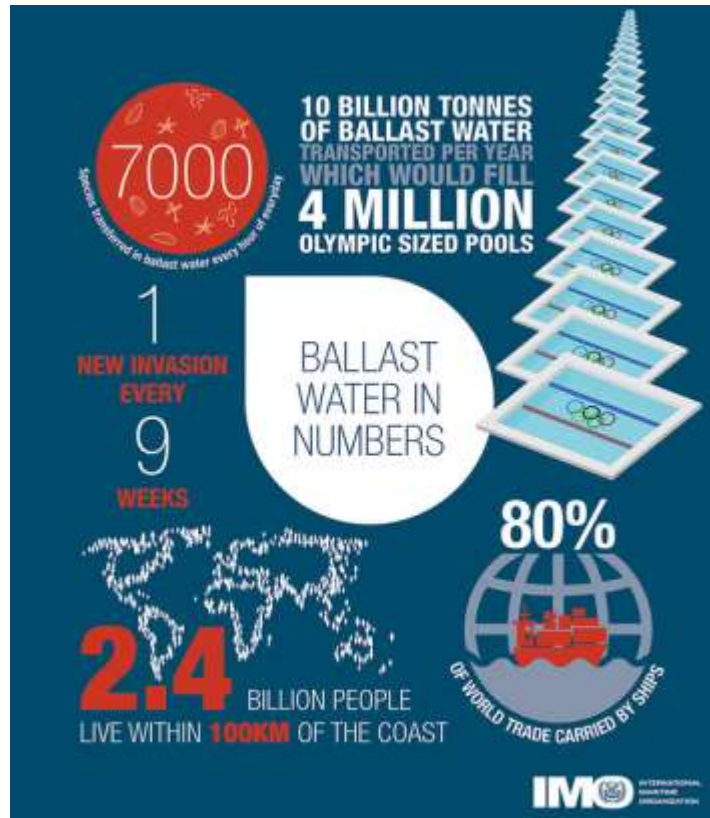
2.1 BWM Convention

Air balas digunakan pada kapal untuk mempertahankan stabilitas kapal, mengurangi stress pada badan kapal, meningkatkan propulsi dan manuver kapal, dan dapat mempertahankan tingkat keamanan beroperasi selama berlayar. Pengisian dan pengosongan tangki balas pada kapal sebagian besar dilakukan saat bongkar muat di pelabuhan, untuk menjaga stabilitas kapal. Karena pertukaran air balas inilah yang menyebabkan penyebaran mikroorganisme laut di berbagai tempat diseluruh dunia, dan beberapa dari mikroorganisme yang tersebar berkembang biak menjadi spesies invasif yang dapat merusak lingkungan.



Gambar 2.1 Penyebaran Organisme Melalui Air Balas
(<https://www.greenoptimistic.com/ballast-water-management/>)

IMO telah menangani masalah Invasive Aquatic Species (IAS) sejak tahun 1980, ketika anggota organisasi tersebut mulai melaporkan berbagai permasalahan tentang IAS kepada Marine Environment Protection Committee (MEPC). Pada tahun 1991, MEPC mengeluarkan *International Guidelines for preventing the introduction of unwanted aquatic organisms and pathogens from ships' ballast water and sediment discharges (resolution MEPC.50(31))*, dan dilanjutkan oleh IMO Assembly dengan dikeluarkannya *resolution A.774(18)*. Pada November 1997, IMO mengeluarkan *resolution A.868(20) – Guidelines for the control and management of ships ballast water to minimize the transfer of harmful aquatic organism and pathogens*, dan mengundang seluruh anggotanya untuk menggunakan pedoman ini untuk menanggulangi masalah IAS (*Invasive Aquatic Species*).



Gambar 2.2 Ilustrasi Penyebaran Spesies Invasi Dalam Air Balas
(www.imo.org)

Setelah berbagai negosiasi dengan anggotanya, IMO mengeluarkan *International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments* (BWM Convention), pada 13 Februari 2004 di London, dan akan diresmikan secara global pada 8 September 2017.

Beberapa aturan yang harus diikuti supaya kapal dapat memenuhi persyaratan yg ada pada BWM Convention adalah sebagai berikut :

2.1.1 Annex – Section B Persyaratan Pengelolaan dan Kontrol untuk Kapal

Kapal harus memiliki Ballast Water Management Plan yang telah disetujui oleh administrasi yang ditunjuk (Regulation B-1). Ballast Water Management Plan berbeda untuk setiap kapal dan berisi tentang deskripsi secara mendetail tentang langkah – langkah yang dilakukan untuk menjalankan persyaratan dari Ballast Water Managements.



Gambar 2.3 *Ballast Water Record Book*
(<http://www.myvessellogs.com/ballastlogbook.htm>)

Kapal harus memiliki Ballast Water Record Book (Regulation B-2) untuk mencatat kapan air balas diambil; disirkulasi atau di-treatment untuk keperluan Ballast Water Management; dan dibuang kembali kelaut. Perlu juga dicatat kapan air balas dikeluarkan ke fasilitas treatment di pelabuhan, dan pembuangan air balas secara tidak disengaja.

Aturan khusus untuk Manajemen Air Balas diatur dalam Regulation B-3. Didalam Regulation B-4, semua kapal yang menerapkan pertukaran air balas harus; melakukan pertukaran air balas setidaknya 200 nm dari daratan terdekat dan pada perairan dengan kedalaman minimal 200 meter. Jika persyaratan pertama tidak memungkinkan, maka pertukaran dapat dilakukan setidaknya 50 nm dari daratan terdekat dengan kedalaman minimal 200 meter.

2.1.2 Annex – Section D Standar Manajemen Air Balas

Regulation D-1 Standar Pertukaran Air Balas. Ketika proses pengisian atau pengosongan balas, kapal harus mampu mengisi atau mengosongkan setidaknya 95% dari kapasitas total tangki balas. Untuk kapal yang menggunakan metode *pumping-through*, kapasitas pompa harus dapat memompa terus menerus selama pengisian 3 kali volume tangki balas.

Regulation D-2. Kapal dengan sistem manajemen air balas tidak boleh mengeluarkan lebih dari 10 organisme hidup per meter kubik atau setara dengan ukuran lebih dari 50 mikrometer dan tidak boleh mengeluarkan lebih dari 10 organisme hidup tiap millimeter untuk ukuran kurang dari 50 mikrometer.

Indikator yang digunakan sebagai standar, namun tidak dibatasi adalah sebagai berikut :

- a. Toxigenic vibrio cholera kurang dari 1 *colony forming unit* (cfu) tiap 100 mililiter atau kurang dari 1 cfu per gram zooplankton.
- b. Escheria coli kurang dari 250 cfu per 100 mililiter
- c. Intestinal enterococci kurang dari 100 cfu per 100 mililiter.

Sistem manajemen air balas harus disetujui oleh administrasi yang telah ditunjuk, berdasarkan pada IMO Guidelines (Regulation D-3 persetujuan persyaratan untuk sistem manajemen air balas). Ini termasuk sistem yang menggunakan bahan kimia; menggunakan organisme atau mekanisme biologi; atau yang mengubah kandungan kimia atau karakteristik dari air balas.



Gambar 2.4 Pertukaran Air Balas Ditengah Laut
(<https://www.green4sea.com/ballast-water-challenge-dilemma/>)

Sebagai solusi sementara yang sesuai pada Section B, semua kapal harus melakukan pertukaran air balas ditengah laut. Namun, cara ini sangat beresiko untuk keselamatan dari beberapa kapal. Pengosongan tangki balas ditengah laut dapat menyebabkan terjadinya permukaan bebas pada tangki balas, dan sangat berpengaruh bagi stabilitas dan sarat kapal, terlebih pada cuaca buruk. Jika sloshing (gejolak air dalam tangki yang tidak penuh) terus terjadi, maka kerusakan struktur pada kapal tidak bisa dihindari.

Untuk menghindari hal ini, kapal perlu memasang *Ballast Water Treatment System* (BWTS), yang digunakan untuk mematikan mikroorganisme yang ada didalam air balas pada saat pengisian maupun pembuangan.

2.2. Metode Ballast Water Treatment

Metode BWT dikategorikan menjadi 3 jenis, yaitu metode kimia, mekanik, dan fisik. Pembagian didasarkan pada bagaimana cara membersihkan air balas dari mikroorganisme asing yg ikut masuk saat pengisian air balas. Metode – metode BWT tersebut tidak bisa membersihkan air balas secara sempurna dan harus dikombinasikan dengan metode BWT lain untuk membentuk *Ballast Water Treatment System (BWTS)*. Dibawah akan dijelaskan beberapa metode yang biasa digunakan dan telah disetujui oleh beberapa class society.

2.2.1. Metode Kimia

Beberapa contoh BWT yang menggunakan metode kimia adalah sebagai berikut

2.2.1.1. Hydrogen Peroxide

Bahan kimia ini digunakan sebagai metode chlorination. Hidrogen Peroxide ditambahkan pada air balas untuk mematikan organisme yang hidup pada air balas. Cara ini cukup aman digunakan karena bahan yang digunakan terlarut dalam air. Namun jumlah hydrogen peroxide yang digunakan harus cukup banyak supaya dapat bekerja secara efektif, sehingga diperlukan tempat penyimpanan khusus dalam kapal dan biayanya cukup mahal.

2.2.1.2. Chlorine Dioxide

Sama seperti diatas, bahan kimia ini digunakan sebagai metode chlorination. Cara ini efektif untuk membunuh semua micro-organisme, bakteri, dan pathogen lain. Namun kekurangannya adalah bahan kimia ini sangat berbahaya dan air balas baru bisa dengan aman dikeluarkan setelah 24 jam.

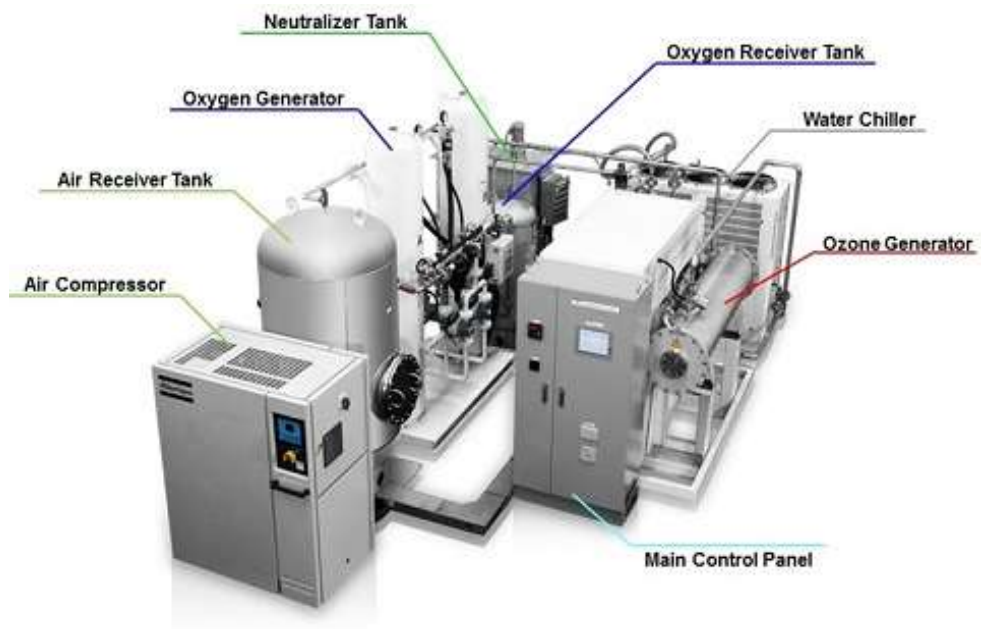


Gambar 2.5 Chlorine Dioxide

(http://www.miracleminealshop.com/product.php?id_product=23)

2.2.1.3. Ozonation

Penggunaan metode ini adalah dengan menambahkan gas ozon ($1-2 \text{ mg/l}$) kedalam air balas, yang akan terurai dan bereaksi dengan bahan kimia lain untuk membunuh micro-organisme. Cara ini kurang efektif untuk membunuh organisme yang lebih besar dan menghasilkan bromate yang berbahaya untuk kesehatan manusia. Ozonate Generator diperlukan untuk mengolah air balas dalam jumlah besar.



Gambar 2.6 *Ozone Treatment Plant*
(www.apmaritime.com)

2.2.2. Metode Mekanik

Beberapa contoh BWT yang menggunakan metode mekanik adalah sebagai berikut

2.2.2.1 Filtration

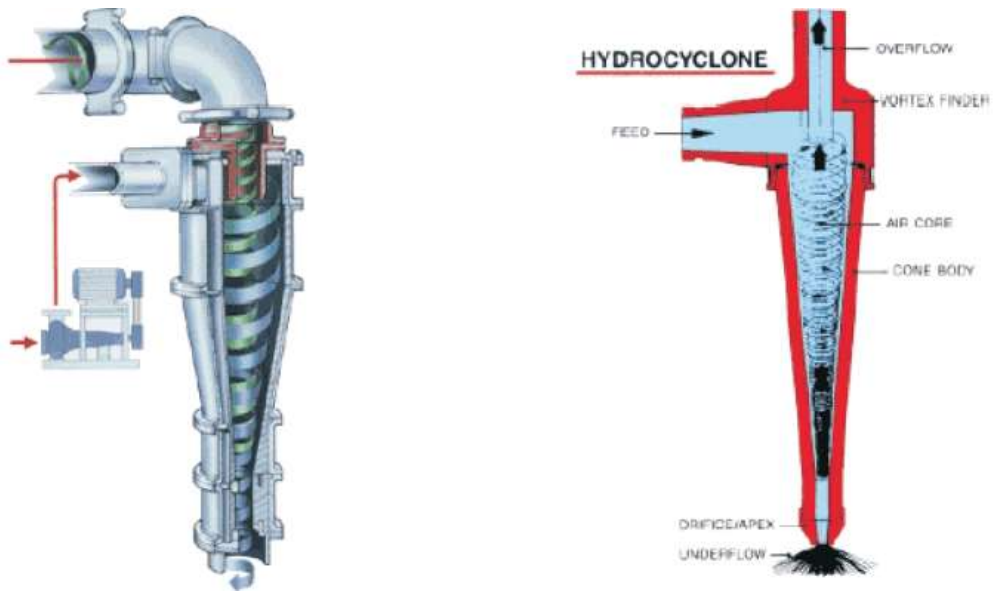
Metode ini menggunakan saringan dengan backwashing otomatis sebagai sarana untuk membersihkan air balas. Cara ini biasanya menggunakan mesh dengan ukuran 10 – 50 micrometer. Kekurangan dari metode ini adalah, saringan kurang efektif untuk membersihkan mikroorganisme yang lebih kecil.



Gambar 2.7 Filter Air Balas
(<http://www.hiseamarine.com/ballast-water-filter-2523.html>)

2.2.2.2. Hydrocyclone / Cyclonic separation

Metode ini menggunakan rotasi sentrifugal air untuk memisahkan partikel – partikel yang ada pada air balas. Keefektifan dari metode ini bergantung pada density dari partikel dan air disekitarnya, ukuran partikel, kecepatan rotasi, dan waktu. Cara ini juga kurang efektif untuk membersihkan mikroorganisme pada air balas.

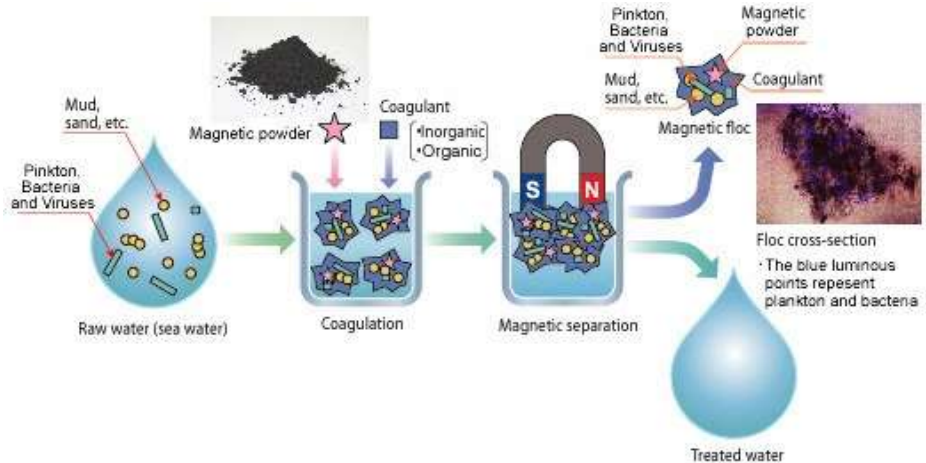


Gambar 2.8 Alat Proses *Hydrocyclone*

(<https://www.marineinsight.com/tech/how-ballast-water-treatment-system-works/>)

2.2.2.3. Coagulation / Sedimentation

Cara ini menggunakan coagulant untuk mengendapkan partikel – partikel atau organisme yang ada pada air balas. Biasanya dikombinasikan dengan metode filtrasi atau hydrocyclone untuk memisahkan endapan partikel dan air balas.



Gambar 2.9 Proses *Coagulation*

(<https://www.marineinsight.com/tech/how-ballast-water-treatment-system-works/>)

2.2.3. Metode Fisik

Beberapa contoh BWT yang menggunakan metode fisik adalah sebagai berikut :

2.2.3.1. Ultraviolet (UV) Radiation

Cara ini menggunakan sinar UV yang dihasilkan oleh quartz sleeve untuk mengubah struktur DNA dari mikroorganisme, sehingga mencegahnya untuk bereproduksi. Cara ini sangat umum digunakan di industri perawatan air karena efektif pada hampir semua mikroorganisme. Namun kekurangannya adalah, perlunya penyebaran sinar UV yang merata sehingga membutuhkan air yang jernih supaya lebih efektif dalam penggunaannya.



Gambar 2.10 Unit *UV Treatment*
(<https://www.youtube.com/watch?v=AnxKOXiyQkU>)

2.2.3.2. Deoxygenation

Cara ini dilakukan dengan mengurangi tekanan oksigen pada bagian ruang diatas air, dengan memasukkan gas inert atau metode vakum pada tangki balas. Cara ini juga berguna untuk mengurangi kecenderungan korosi pada tangki balas. Kekurangan dari metode ini adalah, perlunya waktu sekitar 1 – 4 hari untuk memastikan organisme didalam air balas mati karena kekurangan oksigen.

2.2.3.3. Heat

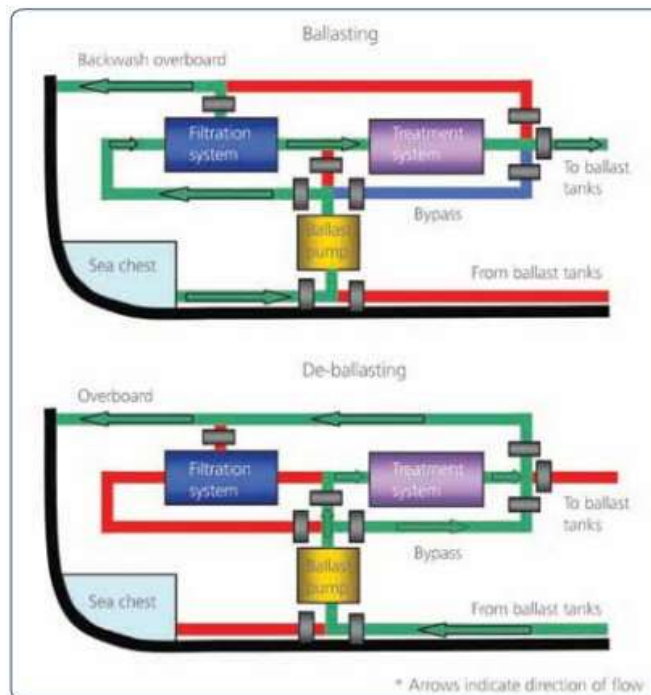
Cara ini menggunakan panas sebagai sarana untuk mematikan organisme pada air balas. Panas yang digunakan untuk metode ini bisa menggunakan berbagai macam sumber seperti, main engine, boiler, funnel, dan lain – lain. Kekurangan dari metode ini adalah, perlu waktu yang cukup lama untuk pemanasan sampai organisme dalam air balas mati, dan air harus didinginkan terlebih dahulu sebelum dibuang kembali ke laut.

2.3 Ballast Water Treatment System

Ballast Water Treatment System (BWTS) adalah sistem treatment balas yang mengkombinasikan beberapa metode BWT. Untuk mencapai hasil treatment balas yang maksimal, 2 atau 3 metode BWT digabungkan dalam sebuah sistem air balas pada kapal dan nantinya, air balas akan melewati BWTS sebelum masuk ke tangki balas atau ketika membuang air balas. Sebagai contoh, pada BWTS yang menggunakan metode filtration dan UV, ketika kapal menyedot balas, air akan melewati proses filtrasi, dan kemudian diproses melalui UV treatment sebelum masuk ke tangki balas. Pada saat pembuangan balas, air balas tidak perlu melalui proses filtrasi dan langsung melewati proses UV treatment sebelum akhirnya dibuang ke laut lepas.

Beberapa contoh BWTS yang menggunakan 2 atau 3 proses treatment adalah sebagai berikut :

- Filtration + UV
- Filtration + UV + Ozone
- Filtration + Deoxygenation



Gambar 2.11 Proses Treatment pada Umumnya
(<http://tecnologia-maritima.blogspot.co.id/2013/02/sistemas-de-tratamiento-de-agua-de.html>)



Gambar 2.12 Filtration and UV Treatment Plant
(<https://www.alfalaval.com/pureballast/>)

Dalam penerapannya, ukuran dan kebutuhan tenaga menjadi persoalan utama dalam pemasangan BWTS. Karena alasan operational dan logistik, sebagian besar sistem dipasang di kamar mesin atau ruang pompa dimana ruangnya cukup terbatas. Pemasangan beberapa modul tambahan diperlukan untuk BWTS dapat bekerja, dan semakin besar sistemnya, maka pengaturannya akan semakin rumit. Kebutuhan tenaga tambahan juga menjadi masalah pada sebagian besar kapal karena sebagian besar pengoperasian balas digunakan ketika sedang melakukan bongkar muat. Karena itu, penambahan kapasitas generator perlu dilakukan untuk menyediakan tenaga supaya BWTS bisa bekerja. Tentunya ini memerlukan biaya tambahan untuk modal pemasangan dan bahan bakar. Karena itu, semakin banyak pertimbangan yang perlu dilakukan untuk meminimalisir kerugian karena pemasangan BWTS.

2.4 Kriteria Utama Pengolahan Air Ballast

IMO telah menetapkan kriteria pengolahan air balas dalam *1st International Ballast Water Treatment Standards Workshop – IMO London, 28-30 March 2001*. Kriteria – kriteria yang dimaksud adalah sebagai berikut :

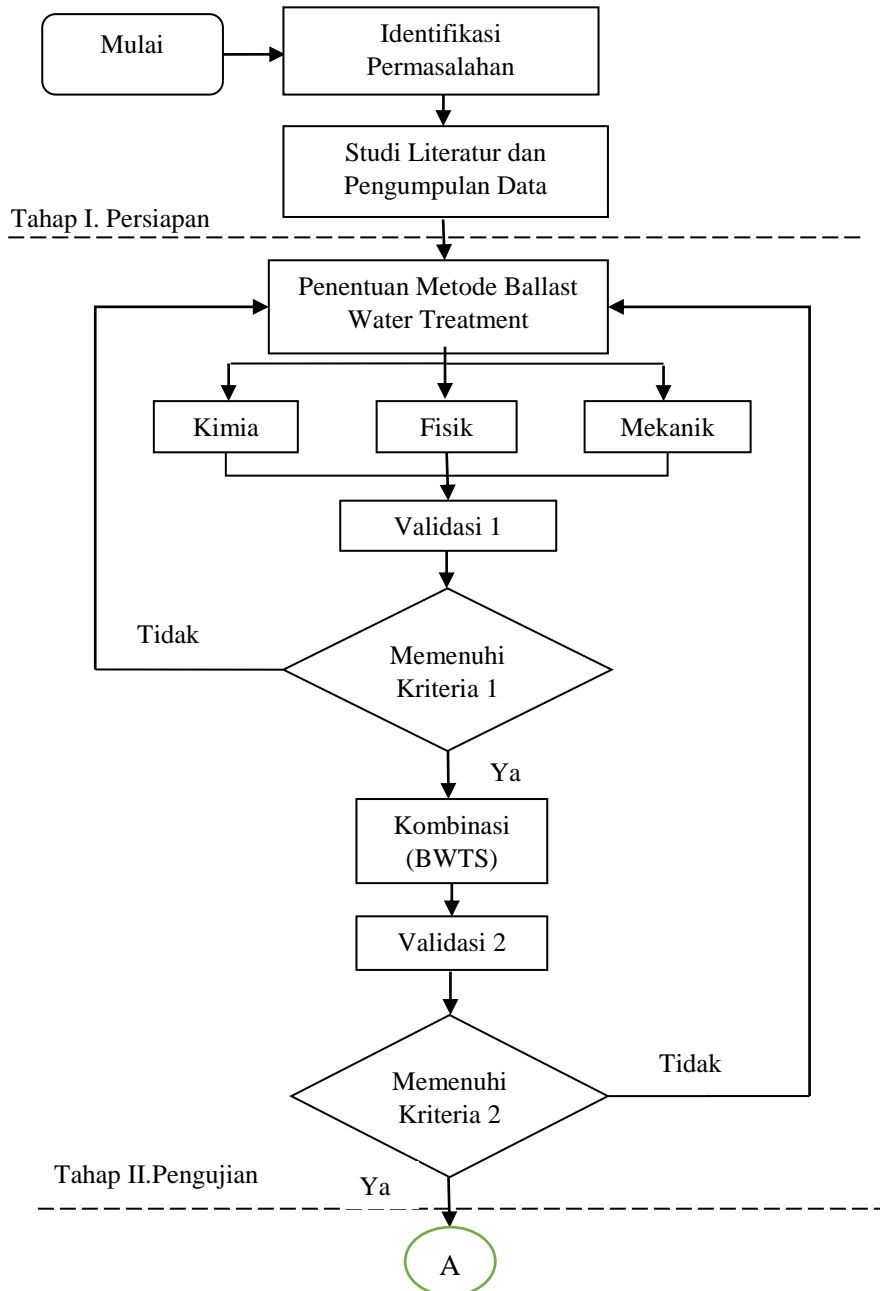
1. Harus mementingkan keamanan kapal dan ABK-nya
2. Sistem tidak boleh menimbulkan masalah baru terhadap lingkungan.
3. Sistem harus kompatibel dengan desain kapal dan sistem operasinya
4. Sistem harus meminimalisir tambahan biaya yang diperlukan
5. Sistem harus efektif secara biologis dalam hal menyingkirkan, membunuh, atau melemahkan organisme air dan pathogen yang ditemukan dalam air balas.

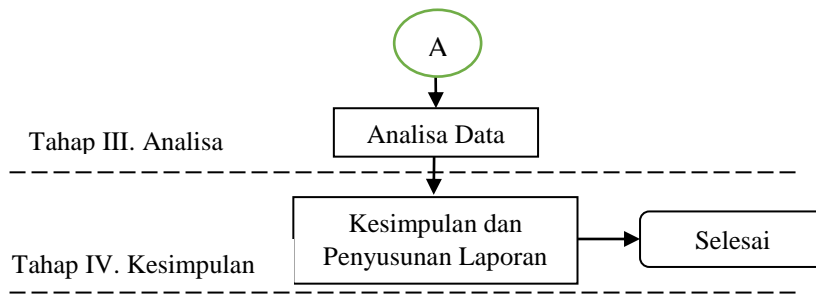
Kriteria – kriteria tersebut akan digunakan dalam pertimbangan untuk menentukan BWTS yang akan dipasang pada kapal.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Berikut adalah flow chart metodologi penelitian dalam perancangan *Ballast Water Treatment System*.





Gambar 3.1. Flow Chart Metodologi Penelitian

3.1. Identifikasi Permasalahan

Identifikasi rumusan masalah, mencakup penentuan permasalahan yang akan dibahas dan akan diselesaikan. Pada tahap ini ditentukan permasalahan mengenai perancangan BWTS yang optimal untuk kapal tanker tanpa mengurangi kinerja sistem lain yang sudah ada..

3.2. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Studi literature dan pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data metode BWT yang umum digunakan dan mengkombinasikan metode – metode tersebut menjadi BWTS. Pengumpulan data mengenai spesifikasi kapal, engine room layout, dan lain – lain dari Gas Carrier Arimbi juga dilakukan pada tahap ini.

3.3. Penentuan Metode Ballast Water Treatment

Penentuan beberapa metode BWT yang akan digunakan dengan mempertimbangkan kriteria yang ada dalam *1st International Ballast Water Treatment Standards Workshop*, dan mengkombinasikan metode – metode tersebut menjadi Ballast Water Treatment System.

3.4. Validasi 1

Membuktikan metode BWT yang terpilih sudah cukup untuk mematikan organisme hidup pada air balas Gas Carrier Arimbi, sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh BWM Convention.

3.5. Kombinasi (BWTS)

Setelah metode treatment ditentukan, maka akan dilakukan tahap kombinasi. Pada tahap ini, akan ditentukan bagaimana penyusunan metode BWT, seperti urutan metode dan rancangan pemasangan pada kapal Gas Carrier Arimbi

3.6. Validasi 2

Membuktikan BWTS yang telah terpilih bisa diaplikasikan pada Gas Carrier Arimbi.

3.7. Analisa Data

Melakukan analisa perhitungan untuk menemukan apa saja tambahan pada sistem kapal yang diperlukan untuk pemasangan BWTS.

3.8. Kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan pengambilan kesimpulan terhadap analisa data yang telah dilakukan. Kesimpulan itu berupa sebuah rancangan BWTS untuk Gas Carrier Arimbi yang telah memenuhi aturan yang diterapkan pada BWN Convention.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DATA

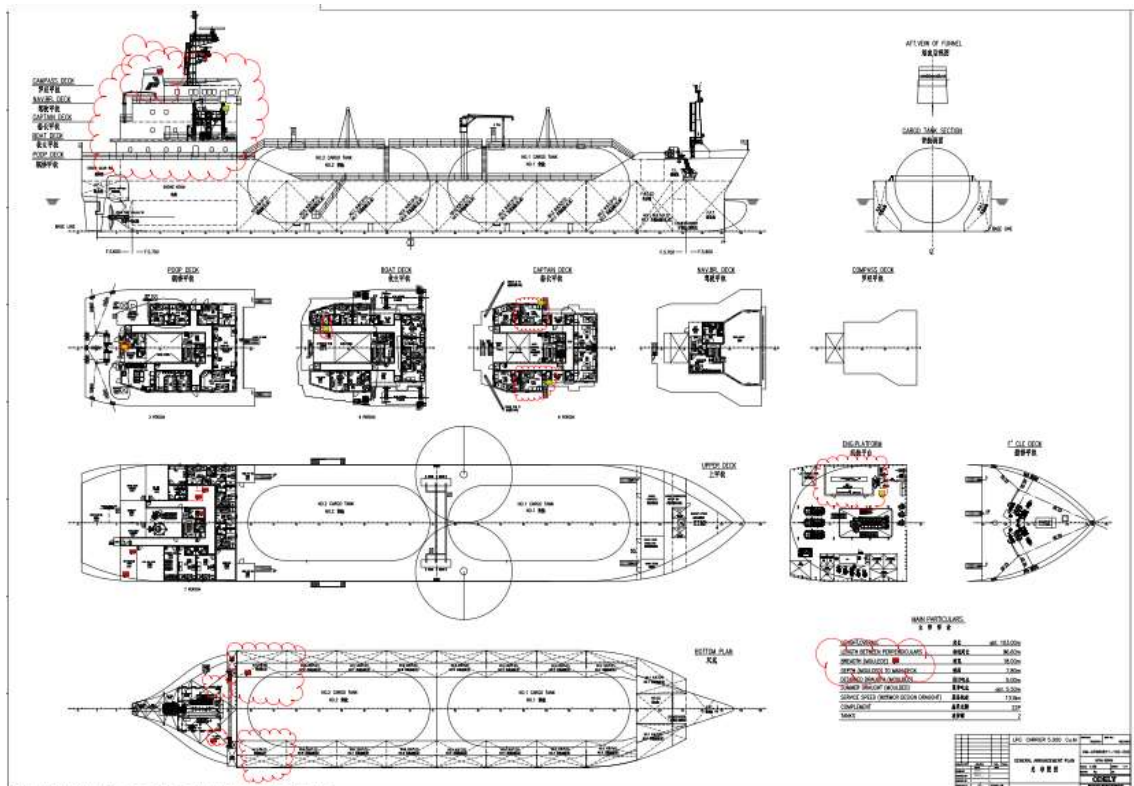
4.1 Data Kapal

Untuk melakukan perancangan BWTS pada kapal Gas Carrier ARIMBI, data-data kapal yang diperlukan adalah sebagai berikut :

- General Arrangement
- Ballast Diagram
- Engine Room Layout
- Gas Dangerous Zones
- Safety Plan
- Ballast Capacity
- Pump Capacity

4.1.1 General Arrangement

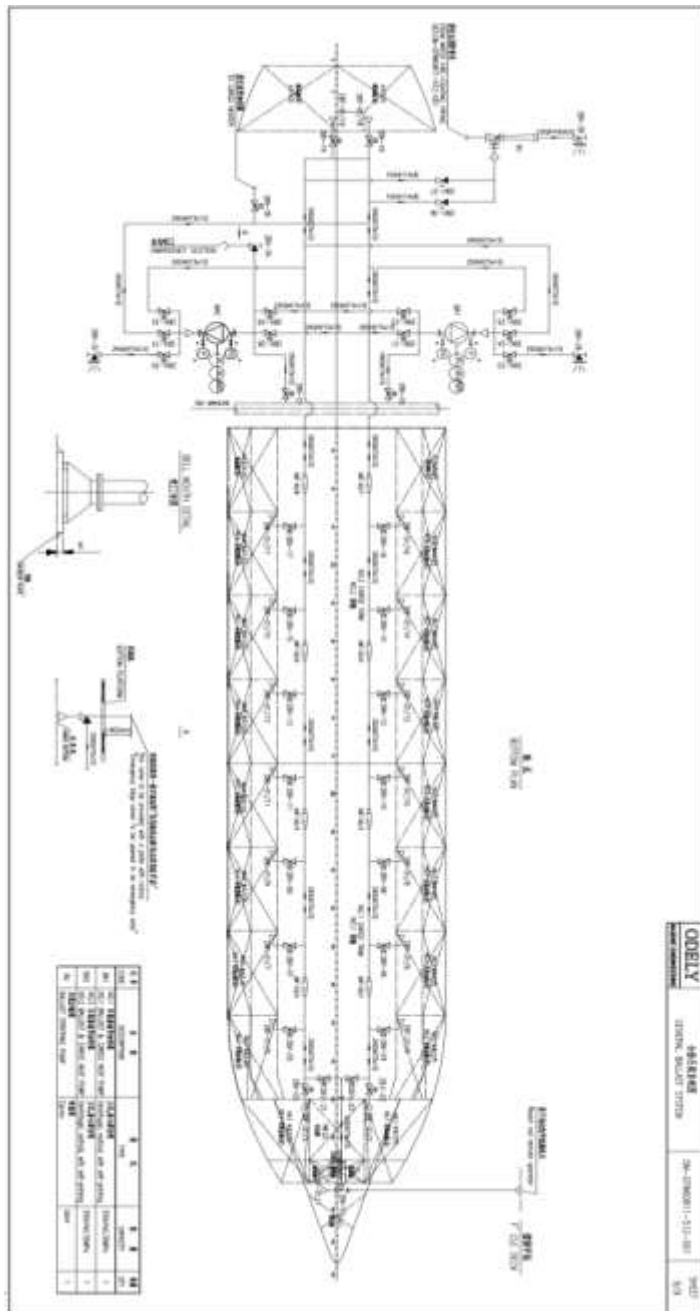
GA pada kapal diperlukan untuk mengetahui susunan ruangan pada kapal. Dengan mengetahui GA kapal, maka dapat diketahui tempat mana saja yang bisa menjadi alternatif pemasangan BWTS, bila sistem tidak bisa dipasang pada Engine Room Layout.



Gambar 4.1 General Arrangement Kapal

4.1.2 Ballast Diagram

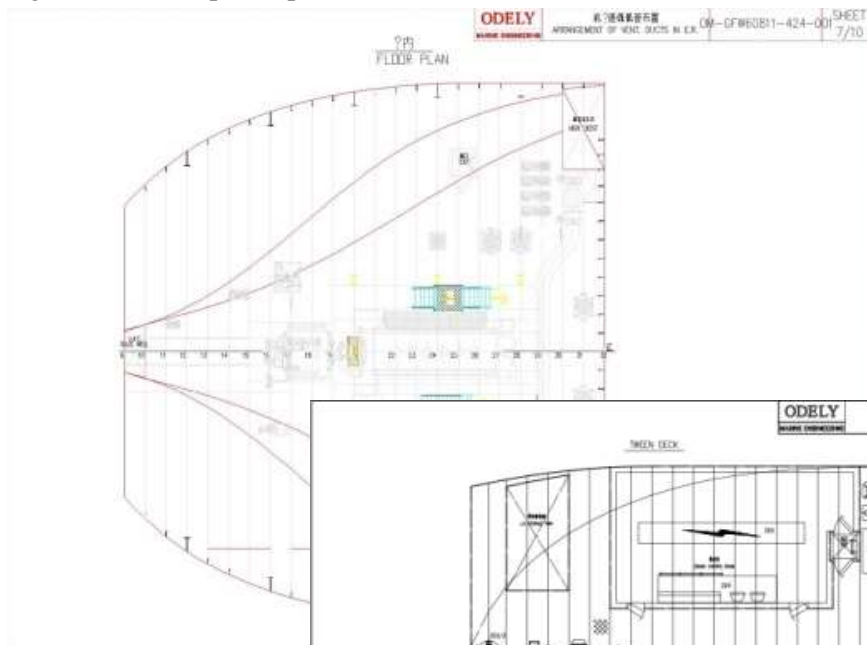
Data *ballast diagram* digunakan untuk mengetahui sistem aliran air balas yang sudah diterapkan pada kapal. Nantinya, penambahan sistem baru BWTS akan ditambahkan pada *ballast diagram*.



Gambar 4.2 *Ballast Diagram* Kapal

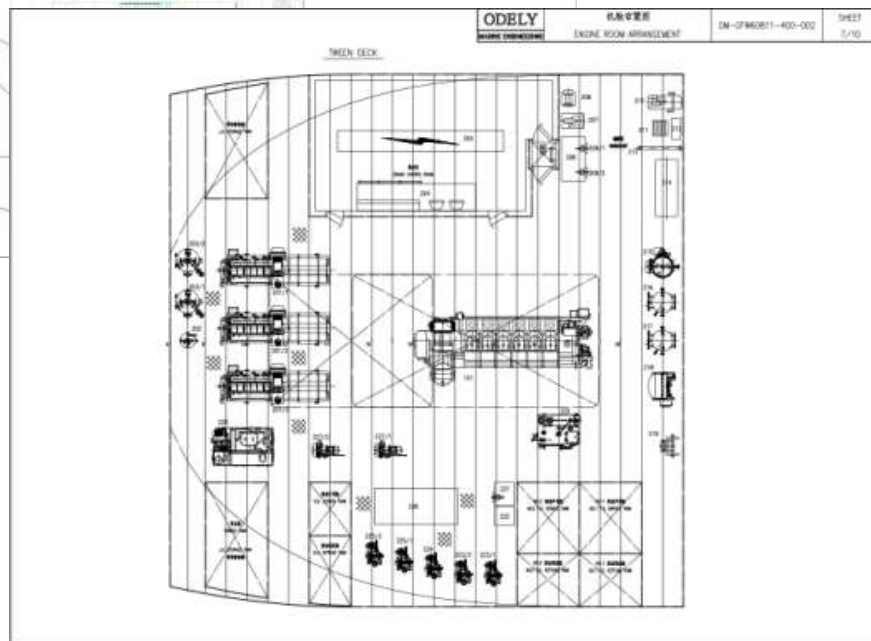
4.1.3 Engine Room Layout

Data E/R layout digunakan untuk mengetahui dimana tempat yang bisa digunakan untuk penempatan BWTS.



Gambar

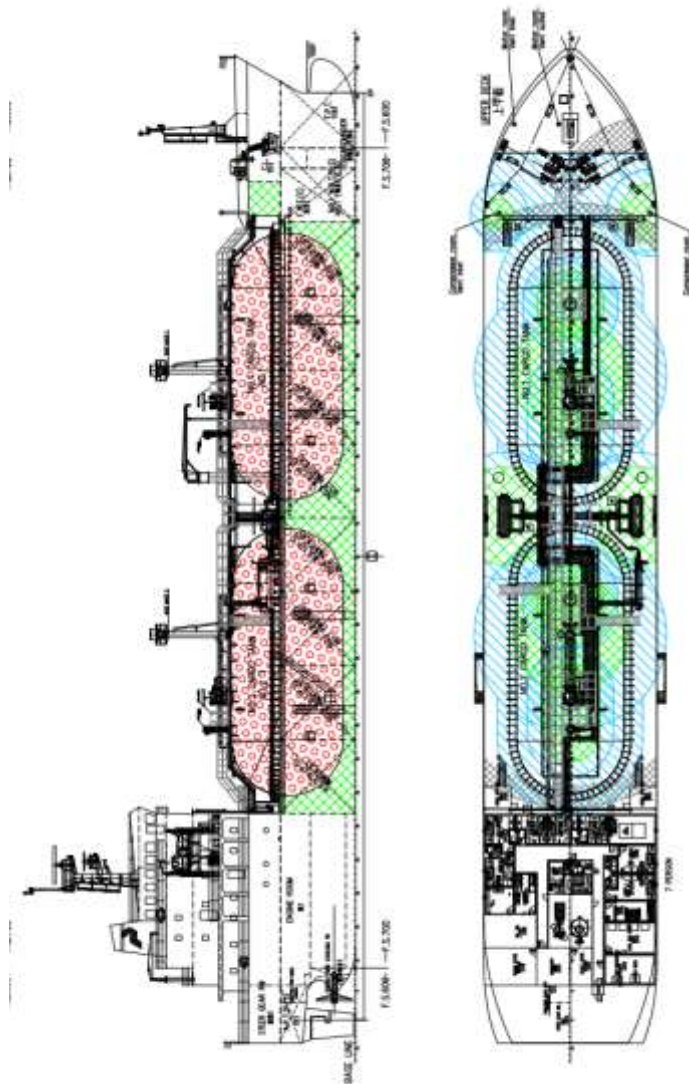
4.3 Engine Room Layout,
Floor Plan



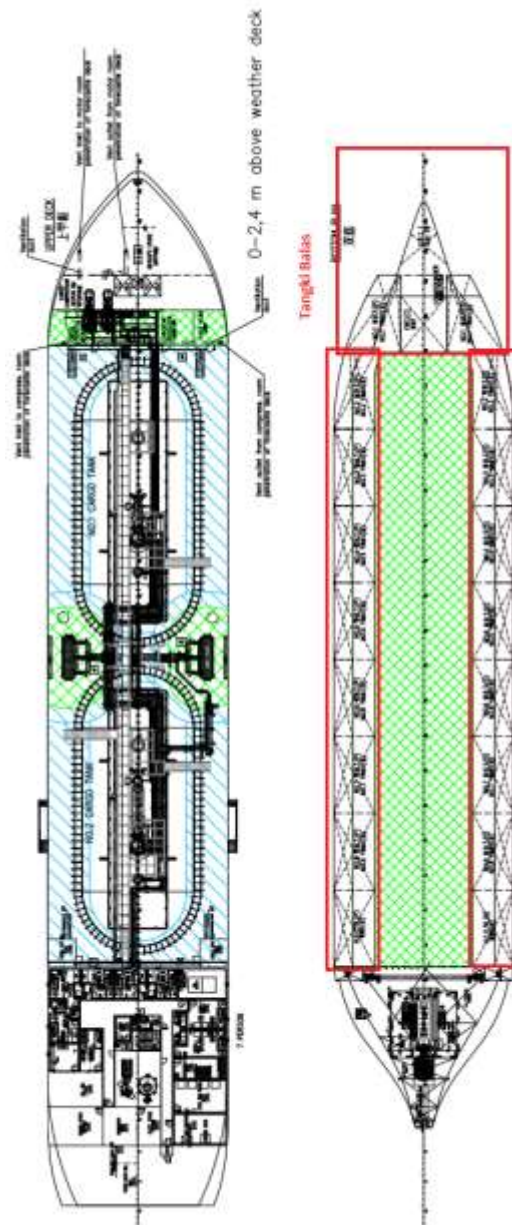
Gambar 4.4 Engine Room Layout, Platform

4.1.4 Gas Dangerous Zones

Data *gas dangerous zones* digunakan untuk mengetahui apakah tangki balas termasuk dalam zona berbahaya atau tidak. Tangki balas yang termasuk dalam zona berbahaya dapat mempengaruhi pemasangan sistem BWTS, jumlah unit BWTS yang diperlukan, dan penambahan sistem keamanan kapal. Pada kapal Gas Carrier ARIMBI, tangki balas tidak termasuk dalam kategori *dangerous zones*.



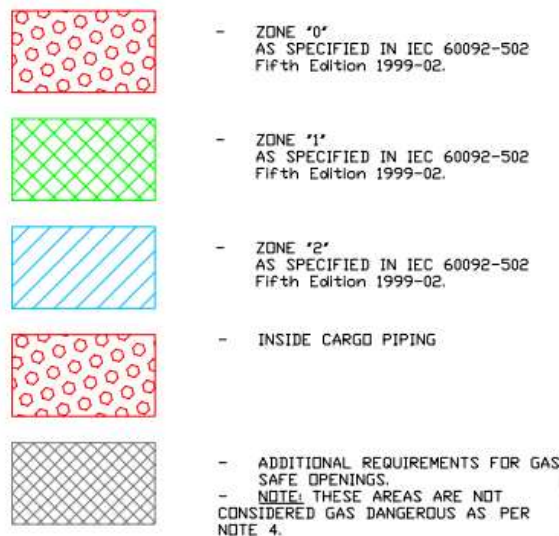
Gambar 4.5 Gas Dangerous Zones 1



Gambar 4.6 Gas Dangerous Zones 2

Kriteria dari *Gas Dangerous Zone* adalah sebagai berikut :

- Zone 0 : area dimana gas yang mudah terbakar selalu ada pada pengoperasian normal.
- Zone 1 : Area dimana gas yang mudah terbakar berkemungkinan besar muncul pada pengoperasian normal
- Zone 2 : Area dimana gas yang mudah terbakar jarang muncul, tetapi bila muncul, hanya dalam waktu singkat.



Gambar 4.7 Pembagian Zona *Gas Dangerous Zones*

4.1.5 Safety Plan

Data ini diperlukan hanya jika tangki balas berada pada *dangerous zone*. Bila tangki balas ada pada *dangerous zones*, maka diperlukan aturan tambahan dalam pemasangan BWTS, seperti penambahan sensor gas, penambahan ratio pertukaran udara pada ruang pemasangan BWTS, pergantian akses, dan lain-lain.

4.1.6 Ballast Capacity

Data ini diperlukan untuk mengetahui kapasitas tiap tangki balas dan totalnya.

Tabel 1 Data Tangki Balas Kapal

Tank - No	Tank Name	Frame Number	Volume (m ³)
1	F.P.T	Fr 131 – Fr 146	210.11
2	NO 1 WB.T (S)	Fr 120 – Fr 131	157.34
3	NO 1 WB.T (P)	Fr 120 – Fr 131	157.34
4	NO 2 WB.T (S)	Fr 109 – Fr 120	93.96
5	NO 2 WB.T (P)	Fr 109 – Fr 120	93.96
6	NO 3 WB.T (S)	Fr 98 – Fr 109	136.49
7	NO 3 WB.T (P)	Fr 98 – Fr 109	136.49
8	NO 4 WB.T (S)	Fr 87 – Fr 98	152.45
9	NO 4 WB.T (P)	Fr 87 – Fr 98	152.45
10	NO 5 WB.T (S)	Fr 76 – Fr 87	155.27
11	NO 5 WB.T (P)	Fr 76 – Fr 87	155.27
12	NO 6 WB.T (S)	Fr 65 – Fr 76	155.28
13	NO 6 WB.T (P)	Fr 65 – Fr 76	155.28
14	NO 7 WB.T (S)	Fr 54 – Fr 65	155.31
15	NO 7 WB.T (P)	Fr 54 – Fr 65	155.31
16	NO 8 WB.T (S)	Fr 43 – Fr 54	154.89
17	NO 8 WB.T (P)	Fr 43 – Fr 54	154.89
18	AP.T (S)	Fr 4 – Fr 6	84.61
19	AP.T (P)	Fr 4 – Fr 6	73.18
	TOTAL		2689.91

4.1.7 Pump Capacity

Data ini diperlukan untuk mengetahui kapasitas pompa balas pada kapal. Kapasitas pompa diperlukan untuk menentukan spesifikasi BWTS yang nanti akan dipasang.

Ballast Pump Spec		
Q =	350	m ³ /h
H =	40	m
NPSH =	4.25	m

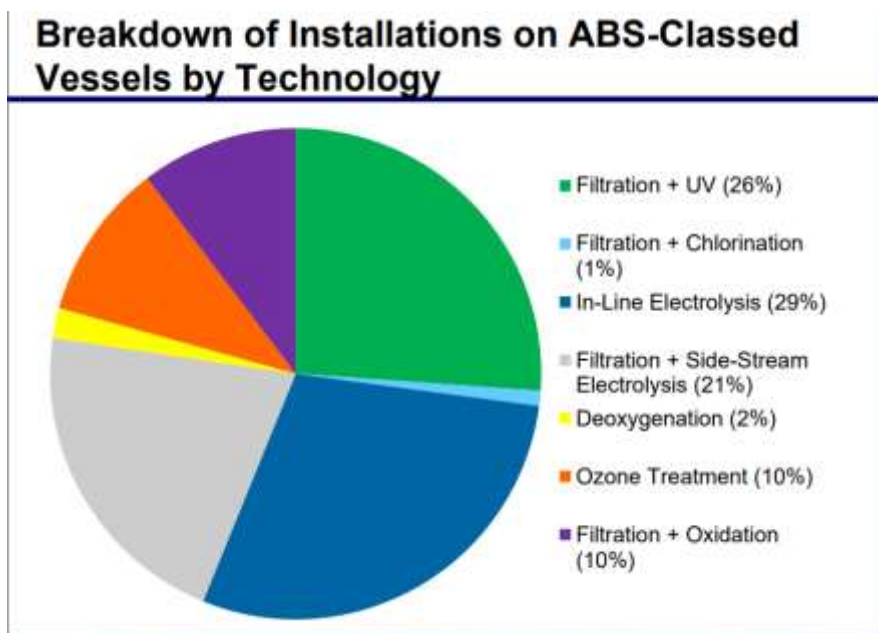
4.2 Pengumpulan Metode Ballast Water Treatment

Metode BWT yang dikumpulkan adalah metode-metode yang umum digunakan pada kapal dan mudah ditemukan dipasaran. Biasanya metode-metode ini sudah ada dalam bentuk kombinasi. Sistem yang menggunakan satu metode treatment saja sudah tidak ada.

Metode BWTS pada umumnya berawal dari metode filtrasi yang menggunakan mesh berukuran 10 – 50 micrometer. Baru setelah itu diikuti dengan metode lain seperti mekanik dan kimia.

Pemilihan BWTS dilakukan dengan mempertimbangkan keuntungan dan kerugian dari setiap metode yang digunakan setelah metode filtrasi

Data Metode Ballast Water Treatment yang umum digunakan berdasarkan data presentasi oleh ABS tahun 2016. Metode – metode tersebut yang akan dipertimbangkan keuntungan dan kerugiannya dalam pemilihan BWTS.



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Metode yang Biasa Digunakan

4.2.1 Metode Ballast Water Treatment

Tabel 2 Perbandingan Metode Treatment

Metode Treatment	Cara Kerja	Keuntungan	Kerugian
UV	Radiasi UV mengubah DNA dan RNA pada mikroorganisme, sehingga mengakibatkan mikroorganisme tersebut lumpuh.	Sangat umum sekali digunakan karena efisiensi dari metode ini tinggi dan tidak meninggalkan polusi atau residu tambahan pada air laut.	Sinar UV menggunakan energi yang besar, dan memerlukan treatment kedua untuk memastikan mikroorganisme benar – benar mati.
Ozone Treatment	Gas Ozone (O ₃) dimasukkan saat proses ballasting berlangsung, dan mematikan mikroorganisme yang ada pada tangki balas.	Sangat efektif dalam membunuh mikroorganisme, bakteri, dan virus.	Gas ozone dapat menimbulkan korosi dan merusak coating pada tangki balas. Selain itu pipa pada sistem ozone tidak boleh melewati service spaces sehingga mempersulit pemasangan pada kapal.
Electrolysis	Bahan kimia seperti hypochlorite dan sodium hypochlorite digunakan untuk menimbulkan reaksi elektrolisis, sehingga membunuh mikroorganisme pada tangki balas.	Sangat efektif dalam membunuh mikroorganisme, bakteri, dan virus.	Air balas harus dinetralkan sebelum dibuang kembali ke laut. Selain itu, diperlukan bahan kimia yang cukup banyak supaya metode ini efektif.
Deoxygenation	Mengurangi kandungan oksigen pada air balas dengan inert gas atau vakum untuk mematikan mikroorganisme.	Berkurangnya kandungan oksigen pada air balas dapat mengurangi korosi pada tangki balas.	Waktu yang diperlukan supaya organisme mati adalah 1 – 4 hari.
Photocatalytic Oxidation	Menggunakan <i>photo-catalytic film</i> untuk membentuk senyawa <i>hydroxyl radicals</i> (-OH) yang akan membunuh mikroorganisme.	Menghasilkan air dan karbon dioksida sebagai residu treatment, sehingga air bisa langsung dibuang kelaut.	Memerlukan sinar UV atau senyawa kimia seperti Hydrogen Peroxide (H ₂ O ₂) atau Titanium Dioxide (TiO ₂), untuk melakukan reaksi kimia, sehingga alat tidak bisa bekerja sendiri.

Selain beberapa metode diatas, ada juga metode yang menggunakan 3 treatment sekaligus yaitu :

- Filtration + UV + Ozonation
- Filtration + UV + Photocatalytic Oxidation (*Advanced Oxidation Process*)
- Filtration + UV + Electrolysis

Penggunaan 3 metode sekaligus dapat mengurangi energi yang digunakan untuk proses UV. Proses ozonation dan electrolysis yang digabungkan dengan proses UV sangat efektif sehingga air balas hanya dilakukan satu kali proses treatment yang tidak dapat dilakukan jika menggunakan UV treatment saja.

Kemudian, pada pemilihan metode *ballast treatment* yang akan digunakan, akan dilakukan metode penilaian (*scoring*), dimana nilai yang digunakan adalah 1 sampai 5 untuk nilai terendah sampai nilai tertinggi. Untuk metode treatment yang menggunakan 3 metode sekaligus, maka nilai yang digunakan adalah nilai total dari *scoring* pada masing – masing metode. Berikut ada tabel penilaian (*scoring*) untuk tiap – tiap metode :

Tabel 3 Hasil Penilaian Untuk Tiap Metode Ballast Treatment

Metode	Lingkungan	Safety	Sifat Korosif	Keserdahanaan sistem	Efisiensi	Total
UV	5	5	5	3	3	21
Ozone	2	2	2	3	4	13
Electrolysis	2	4	4	3	5	18
Deoxygenation	5	4	5	4	1	19
Photo–catalytic Oxidation	4	5	5	2	5	21

Keterangan : 1 – Sangat Kurang; 2 – Kurang, 3 – Cukup, 4 – Baik, 5 – Sangat Baik.

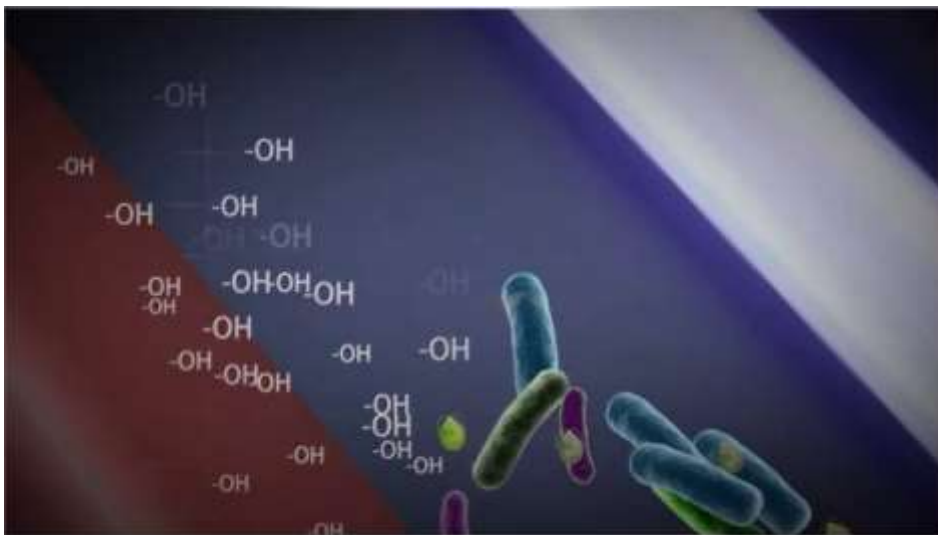
Dari hasil penilaian diatas, maka dapat ditentukan bahwa metode *ballast treatment* yang paling optimal untuk digunakan adalah Filtration + UV + Photocatalytic Oxidation.

4.2.2 Advanced Oxidation Process

Advanced Oxidation Process atau biasa disebut AOP, adalah proses treatment kimia yang menggunakan sinar UV dan proses kimia lain seperti Hydrogen Peroxide (H_2O_2) atau Titanium Dioxide (TiO_2) untuk menghasilkan *hydroxyl radicals* ($-OH$) untuk membunuh mikroorganisme.

Photocatalytic Oxidation adalah proses AOP yang menggunakan proses kombinasi antara katalis Titanium Dioxide (TiO_2) dan sinar UV untuk menghasilkan *hydroxyl radicals*.

Proses ini hanya menghasilkan air dan karbon dioksida sebagai residu sehingga air balas dapat dibuang langsung ke laut. Namun kekurangan dari proses ini adalah penggunaan bahan kimia yang cukup banyak jika konsentrasi mikroorganisme yang terkandung dalam air balas tinggi.



Gambar 4.9 Reaksi *Photo-Catalytic Film* untuk Pembasmian Mikroorganisme

Gambar 4.10 Contoh Unit BWTS *Ocean Doctor*

4.3 Spesifikasi BWTS yang Digunakan

Pada penentuan unit BWTS, data yang diperlukan adalah debit pompa yang terpasang pada kapal. Dari debit pompa, maka didapatkan unit BWTS yang cocok untuk digunakan. Pompa yang digunakan memiliki debit sebesar $350 \text{ m}^3/\text{h}$, jadi unit BWTS yang digunakan adalah HBS-500.

Models and specifications

Model	TRC (m³/h)	Power (kW)	Main Configuration			
			Filtration Unit	Photo-catalytic Reaction Unit	UV Power Unit	Control Unit
			Model×Qty.	Model×Qty.	Model×Qty.	Model×Qty.
HBS-250	150*275	9	F250 × 1	P250 × 1	E250 × 1	CC × 1
HBS-500	300*550	17	F500 × 1	P500 × 1	E500 × 1	CC × 1
HBS-800	500*850	28	F800 × 1	P800 × 1	E800 × 1	CC × 1
HBS-1000	800*1100	32	F1000 × 1	P500 × 2	E500 × 2	CC × 1
HBS-1300	800*1400	41	F1300 × 1	P500 × 1	E500 × 1	CC × 1
				P800 × 1	E800 × 1	
HBS-1600	1000*1750	50	F1600 × 1	P800 × 2	E800 × 2	CC × 1
				P500 × 1	E500 × 1	
HBS-2100	1300*2300	66	F2100 × 1	P800 × 2	E800 × 2	CC × 1
				P800 × 2	E800 × 2	
HBS-2400	1500*2800	72	F2400 × 1	P800 × 3	E800 × 3	CC × 1
HBS-3200	2000*3500	96	F3200 × 1	P900 × 4	E800 × 4	CC × 1
HBS-4000	2400*4400	120	F4000 × 1	P900 × 5	E900 × 5	CC × 1
HBS-4800	2800*5200	146	F4800 × 1	P900 × 6	E900 × 6	CC × 1

Power Supply: 400/440VAC, 50Hz/60Hz or other marine power supply systems

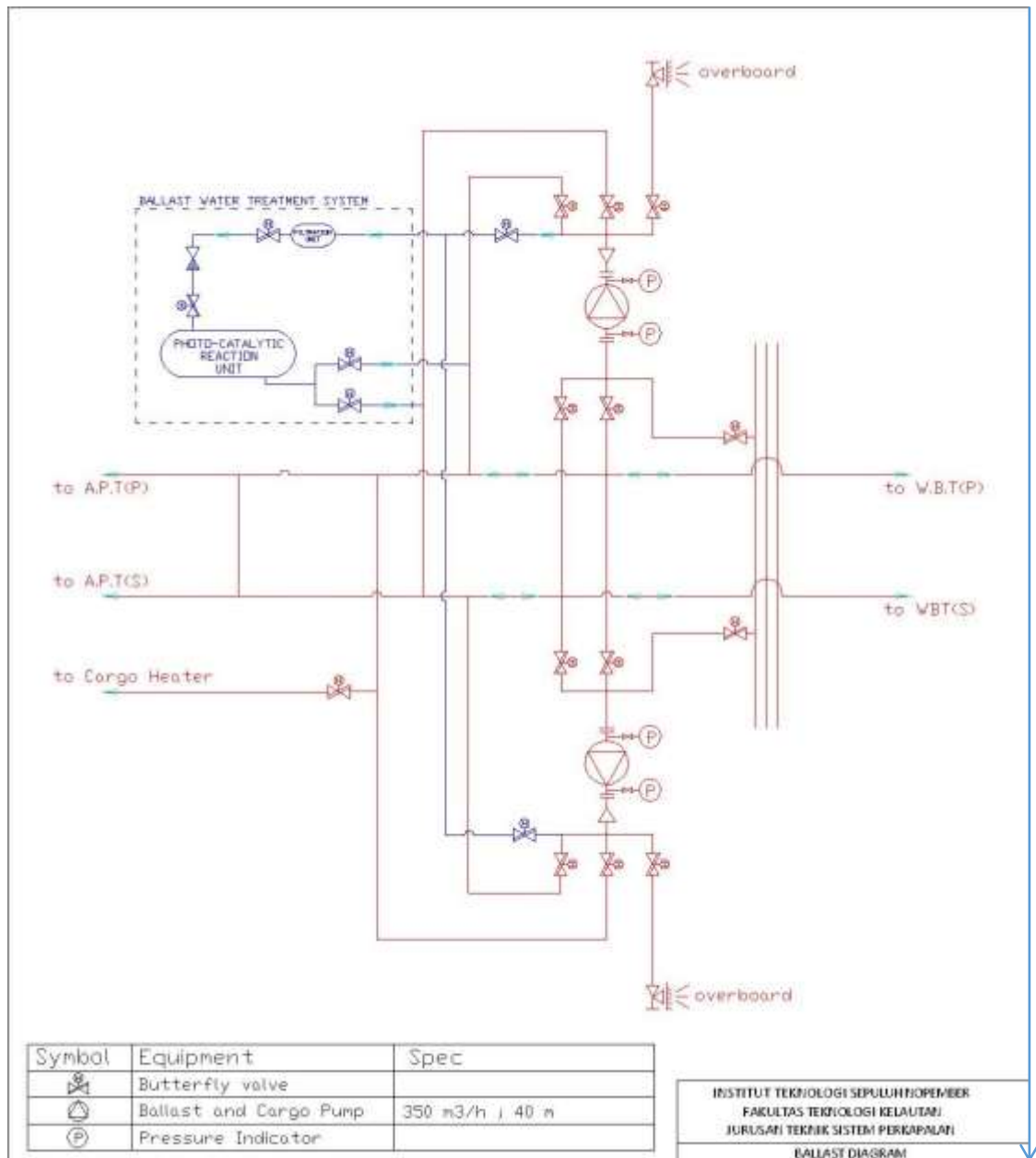
Models and specifications of each unit

Photo-catalytic Reaction Unit			UV Power Unit			Control Unit
Model	P250	P500	P800	P1300	P1600	CC
Unit×Weight×Height	1.8×0.5×0.5	1.9×0.6×0.8	2.0×0.7×0.9	0.8×0.5×1.3	0.9×0.5×1.3	0.5×0.3×0.8

Filtration Unit									
Model	F250	F500	F800	F1000	F1300	F1600	F2100	F2400	F4000
Unit×Weight×Height	0.3×0.5×1.1	0.6×0.7×1.8	1.0×0.8×2.3	1.3×1.3×3.8	1.3×1.3×3.8	1.4×1.3×3.8	1.6×1.3×3.1	1.7×1.4×3.2	1.8×1.5×3.8

Gambar 4.11 Unit BWTS yang Digunakan

4.4 Diagram Proses BWTS



Gambar 4.12 Konfigurasi Sistem BWTS

Diagram proses dari sistem *treatment* air balas cukup sederhana. Pada proses *ballasting*, air dari pompa dialirkan ke sistem filtrasi untuk disaring terlebih dahulu. Kemudian dilanjutkan ke *photo-catalytic reaction unit* untuk proses pembasmian mikroorganisme menggunakan sinar UV dan *photo-catalysis film*. Setelah itu air, air balas bisa langsung dialirkan ke tangki – tangki balas kapal.

Untuk proses *de-ballasting*, air dari tangki balas langsung dialirkan ke overboard menggunakan menggunakan pompa balas tanpa harus diproses ulang melalui *photo-catalytic reaction unit*.

4.5 Perhitungan Pompa

Perlu dilakukan perhitungan ulang untuk pompa balas, untuk memastikan apakah pompa yang sudah terpasang sudah memiliki kapasitas tekanan yang cukup atau tidak untuk menunjang pengoperasian BWTS. Berikut adalah langkah – langkah perhitungan pompa balas.

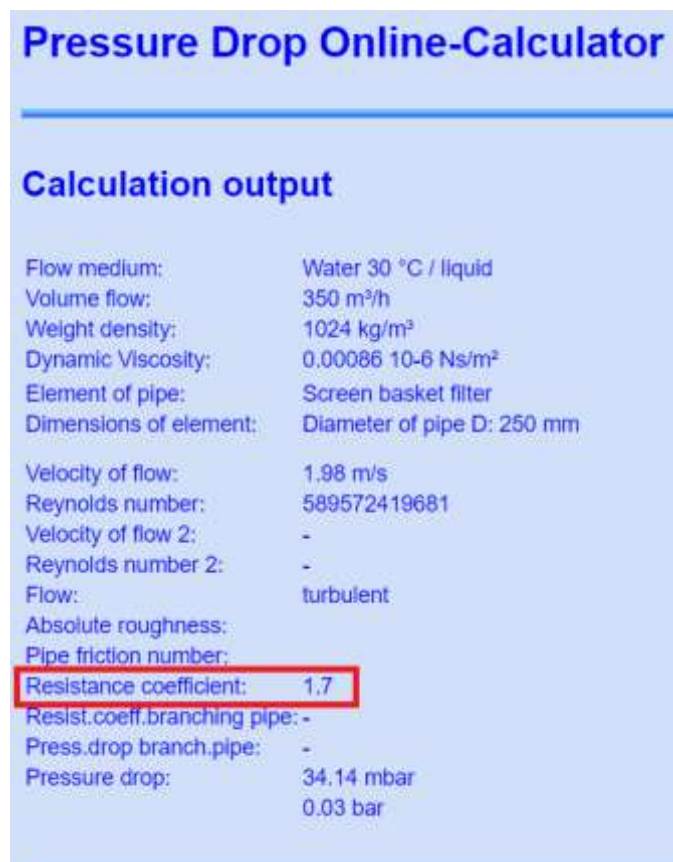
4.5.1 Penentuan Nilai Resistance Coefficient

Karena kurangnya data *resistance coefficient* (K) untuk *filtration unit* dan *photo-catalytic reaction unit*, maka perlu dilakukan pendekatan dengan menggunakan peralatan lain yang sifat alirannya mendekati kedua unit tersebut.

Filtration unit, memiliki prinsip yang sama dengan *screen basket filter*, dengan tambahan sistem *backflushing* yang secara otomatis membersihkan saringan ketika terjadi penurunan tekanan. Setelah itu, dengan menggunakan kalkulator *pressure drop* online, dimasukkan data suhu air, debit, massa jenis air laut, *dynamic viscosity*, dan diameter pipa balas. Setelah memasukkan semua data diatas, maka didapatkan data nilai K sebesar 1,7. Untukantisipasi terjadinya kesalahan pada perhitungan, maka nilai K untuk *filtration unit* ditambahkan menjadi 3.

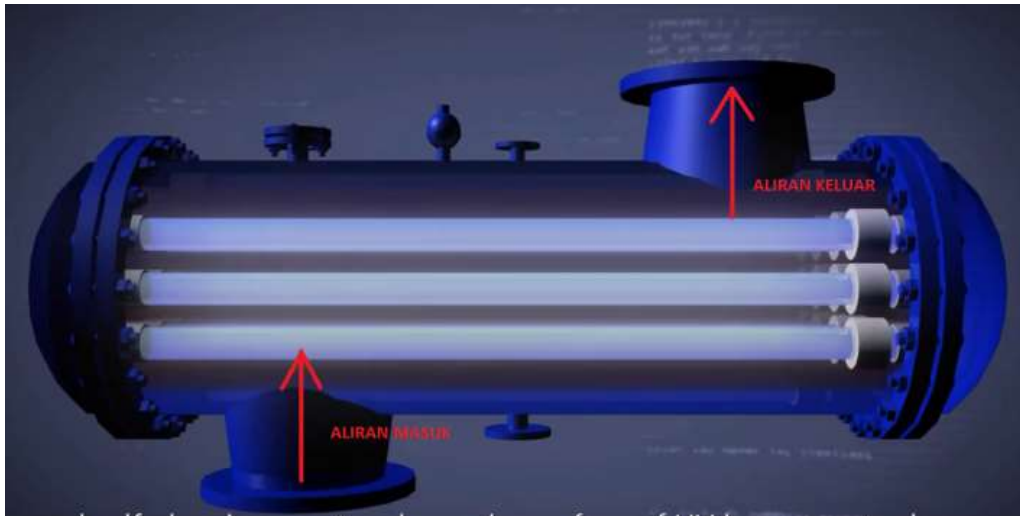


Gambar 4.13 Screen Basket Filter



Gambar 4.14 Hasil Perhitungan Nilai K Filter Unit

Ada sedikit kesulitan untuk pencarian nilai K untuk *photo-catalytic reaction unit*, karena tidak ada unit yang memiliki cara kerja yang mirip. Jadi penentuan nilai K dicari dengan asumsi aliran air mengalami *sudden enlargement*. Setelah itu, dengan menggunakan kalkulator *pressure drop* online, dimasukkan data suhu air, debit, massa jenis air laut, *dynamic viscosity*, diameter pipa balas 1 dan diameter pipa balas 2 (*enlargement*). Setelah memasukkan semua data diatas, maka didapatkan data nilai K sebesar 9. Untukantisipasi terjadinya kesalahan pada perhitungan, karena ada item lain dalam tabung seperti lampu UV dan *photo-catalysis* film, maka nilai K untuk *photo-catalytic reaction unit*, ditambahkan menjadi 12.



Gambar 4.15 Aliran Air Dalam *Photo-Catalytic Unit*

Pressure Drop Online-Calculator	
Calculation output	
Flow medium:	Water 30 °C / liquid
Volume flow:	350 m ³ /h
Weight density:	1024 kg/m ³
Dynamic Viscosity:	0.00086 10 ⁻⁶ Ns/m ²
Element of pipe:	Sudden enlargement
Dimensions of element:	Diameter of pipe D1: 250 mm Diameter of pipe D2: 500 mm
Velocity of flow:	1.98 m/s
Reynolds number:	589572419681
Velocity of flow 2:	0.5 m/s
Reynolds number 2:	294786209840
Flow:	turbulent
Absolute roughness:	
Pipe friction number:	
Resistance coefficient:	9
Resist.coef.branching pipe:	-
Press.drop branch.pipe:	-
Pressure drop:	11.3 mbar 0.01 bar

Gambar 4.16 Hasil Perhitungan Nilai K untuk
Photo-Catalytic Unit

4.5.2 Perhitungan Tekanan (Head) Pompa Balas

- Volume Total Air Balas

Volume Air Balas diambil dari data kapal, yaitu :

$$V_b = 2689,88 \text{ m}^3$$

- Debit Pompa

Karena pemilihan unit BWTS adalah berdasarkan pompa yang digunakan maka nilai debit air diambil dari spek pompa kapal:

$$Q = 350 \text{ m}^3/\text{jam}$$

- Diameter Pipa Balas

Untuk mempermudah instalasi unit BWTS, nilai diameter diambil dari diameter pipa balas yang sudah terpasang yaitu :

$$D = 250 \text{ mm}$$

- Perhitungan *Head* Pompa

H_s = Jarak dari tangki balas ke overboard

$$= 5 + 0.75$$

$$= 5.75 \text{ m}$$

H_p = perbedaan tekanan sisi *suction* dan *discharge*

$$= 0 \text{ m}$$

H_v = Perbedaan kecepatan pada sisi *suction* dan *discharge*

$$= 0 \text{ m}$$

- Perhitungan *Head Losses* pada Pipa

Head Discharge

$$\text{Major losses (hf)} = \lambda \times L \times v^2 / (D \times 2g)$$

Dimana :

L = Panjang sisi *discharge*

$$= 80 \text{ m}$$

$$\lambda = 0.02$$

v = kecepatan aliran air dalam pipa

$$= 2 \text{ m/s}$$

Sehingga:

$$\text{Mayor Loses} = 0.02 \times 80 \times 2^2 / (250 \times 10^{-3} \times 2 \times 9.8)$$

$$= 1.31 \text{ m}$$

Minor Loses (hm) = *head losses* karena aksesoris pada sisi *discharge*

No	Accessories	n	k	n x k
1	Elbow 90°	8	0.75	6
2	Butterfly Valve	5	0.6	3
3	SDNRV remotely	1	1.35	1.35
4	T joint	7	1	7
5	Bulkhead Fitting	1	0.02	0
6	Filtration Unit	1	3	3
6	PC Unit	1	12	12
				Σnk
				32.37

$$\begin{aligned}
 \text{Minor Losses} &= (\Sigma n \times k) \times v^2 / 2g \\
 &= (32.37 \times 2^2) / (2 \times 9.8) \\
 &= 6.602 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total Head Discharge} &= h_f + h_m \\
 &= 1.31 + 6.602 \\
 &= 7.908 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Head Suction

$$\text{Major losses (hf)} = \lambda \times L \times v^2 / (D \times 2g)$$

Dimana :

L = Panjang sisi *suction*

$$= 5 \text{ m}$$

$$\lambda = 0.02$$

v = kecepatan aliran air dalam pipa

$$= 2 \text{ m/s}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 \text{Mayor Loses} &= 0.02 \times 5 \times 2^2 / (250 \times 10^{-3} \times 2 \times 9.8) \\
 &= 0.1837 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Minor Loses (hm) = *head losses* karena aksesoris pada sisi *suction*

No	Accessories	n	k	n x k
1	Elbow 90°	3	0.75	2.25
2	Butterfly Valve	3	0.6	1.8
3	SDNRV	0	1.35	0
4	Bulkhead Fitting	1	0.02	0.02
5	T joint	2	1	2
Σnk				6.07

$$\begin{aligned}
 \text{Minor Losses} &= (\Sigma n \times k) \times v^2 / 2g \\
 &= (6.07 \times 2^2) / (2 \times 9.8) \\
 &= 2.778 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total Head Suction} &= h_f + h_m \\
 &= 2.778 + 0.1837 \\
 &= 2.962 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total Head Losses} &= \text{Head Suction} + \text{Head Discharge} \\
 &= 7.908 + 2.96 \\
 &= 10.87 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Head Total} &= H_s + H_p + H_v + \Sigma \text{Head Losses} \\
 &= 5.75 + 0 + 0 + 10.87 \\
 &= \mathbf{16.62 \text{ m}}
 \end{aligned}$$

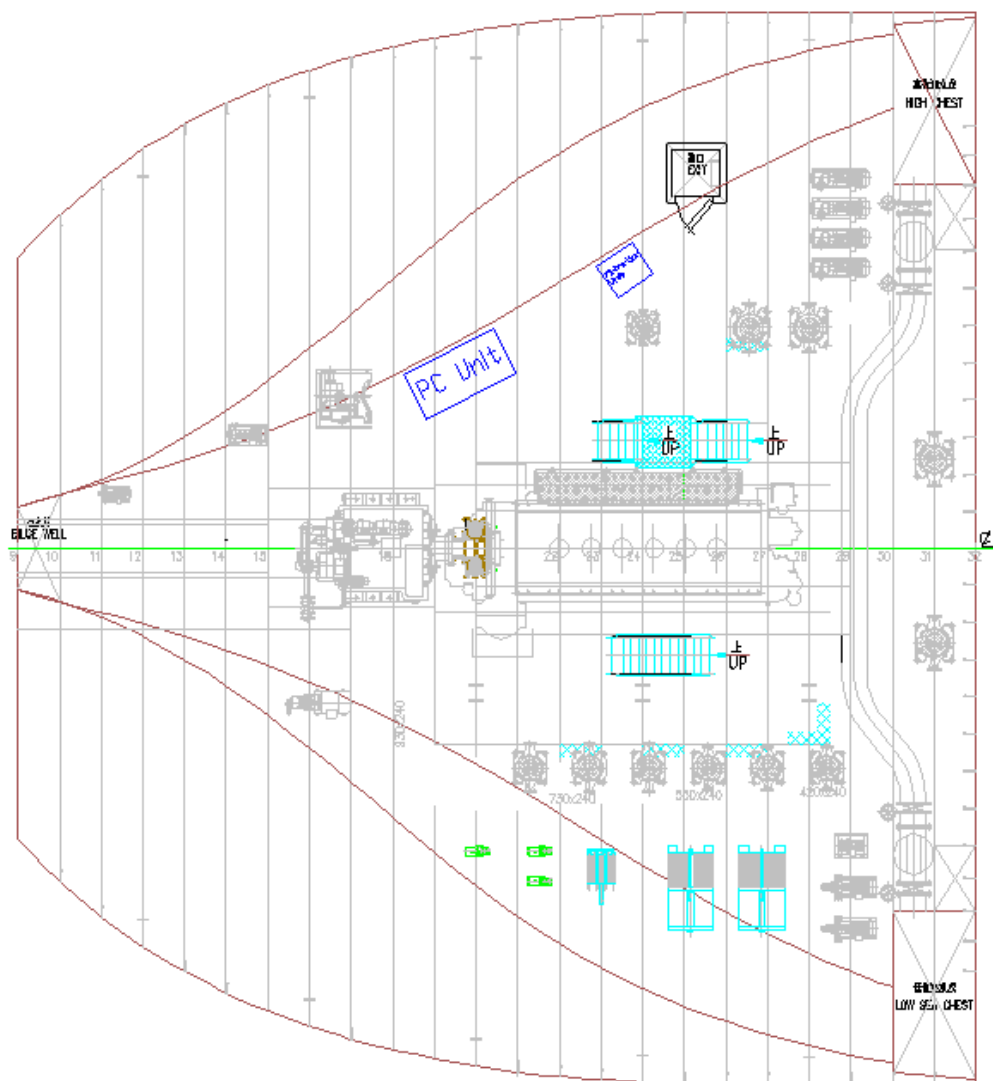
Head Pompa yang Terpasang = 40 m

Karena Head Pompa > dari Head Total hasil perhitungan, maka tidak perlu dilakukan penggantian pompa untuk menunjang pengoperasian BWTS

4.6 Lokasi BWTS

Setelah melakukan perhitungan dan diputuskan bahwa unit BWTS tidak memerlukan pompa pengganti, maka selanjutnya adalah pemilihan tempat untuk pemasangan unit BWTS. Pada desain kapal *gas carrier* ARIMBI, tangki balas dan tangki ruang muat dipisahkan *void area*, untuk mencegah masuknya gas berbahaya dalam ruang muat masuk kedalam tangki balas jika terjadi kebocoran. Karena itu, pemasangan unit BWTS bisa dilakukan di ruang mesin, tanpa adanya resiko bocoran gas masuk melalui aliran air balas. Unit BWTS akan dipasang di kamar mesin bagian *tank top*, antara frame 23 – 25 untuk *filtration unit* dan frame 18 – 21 untuk *photo-catalytic reaction unit*.

FLOOR PLAN



Gambar 4.17 Lokasi Unit BWTS

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perancangan yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Kombinasi *ballast treatment* filtrasi, radiasi ultraviolet, dan *photo-catalytic oxidation* merupakan metode yang cukup efektif dalam pembasmian mikroorganisme dalam air balas, dan konfigurasi pemasangan sistemnya tidak terlalu rumit.
2. Dari anallisa perhitungan, tekanan pompa yang dibutuhkan untuk pengoperasian unit BWTS adalah 16,62 m. Karena tekanan yang dibutuhkan masih jauh dibawah tekanan pompa yang sudah terpasang pada kapal, yaitu 40 m, maka tidak perlu adanya pergantian pompa untuk menunjang pengoperasian unit BWTS.

Saran

1. Penelitian ini tidak memperhitungkan biaya dalam pemasangan sistem karena kurangnya data biaya unit BWTS yang akan digunakan.
2. Penelitian ini juga tidak memperhitungkan *Electrical Load Balance* untuk memastikan apakah kapal memiliki tenaga listrik yang cukup untuk pengoperasian BWTS, karena adanya kendala waktu untuk pencarian data.
3. Karena kurangnya data *resistance coefficient* untuk unit filtrasi dan *photo-catalytic reaction unit*, maka diharapkan adanya penelitian lanjutan untuk menemukan nilai koefisien tersebut.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Resolution MEPC.279(70), 2016, *Guidelines for Approval of Ballast Water Management Systems (G8)* : 2016

Lloyd's Register, 2012, *Ballast water treatment technologies and current system availability, Part of Lloyd's Register's Understanding Ballast Water Management series* : 2012

Ryan Albert, Rich Everett, John Lishman, Daniel Smith, 2010, *Availability and Efficacy of Ballast Water Treatment Technology : Background and Issue Paper*, Washington, D.C. : 2010

American Bureau of Shipping, 2016, *Guide for Ballast Water Treatment*, Houston, TX, USA : 2016

Bureau Veritas, 2011, *NI 538 Ballast Water Management Systems*, France : 2011

<http://www.imo.org>

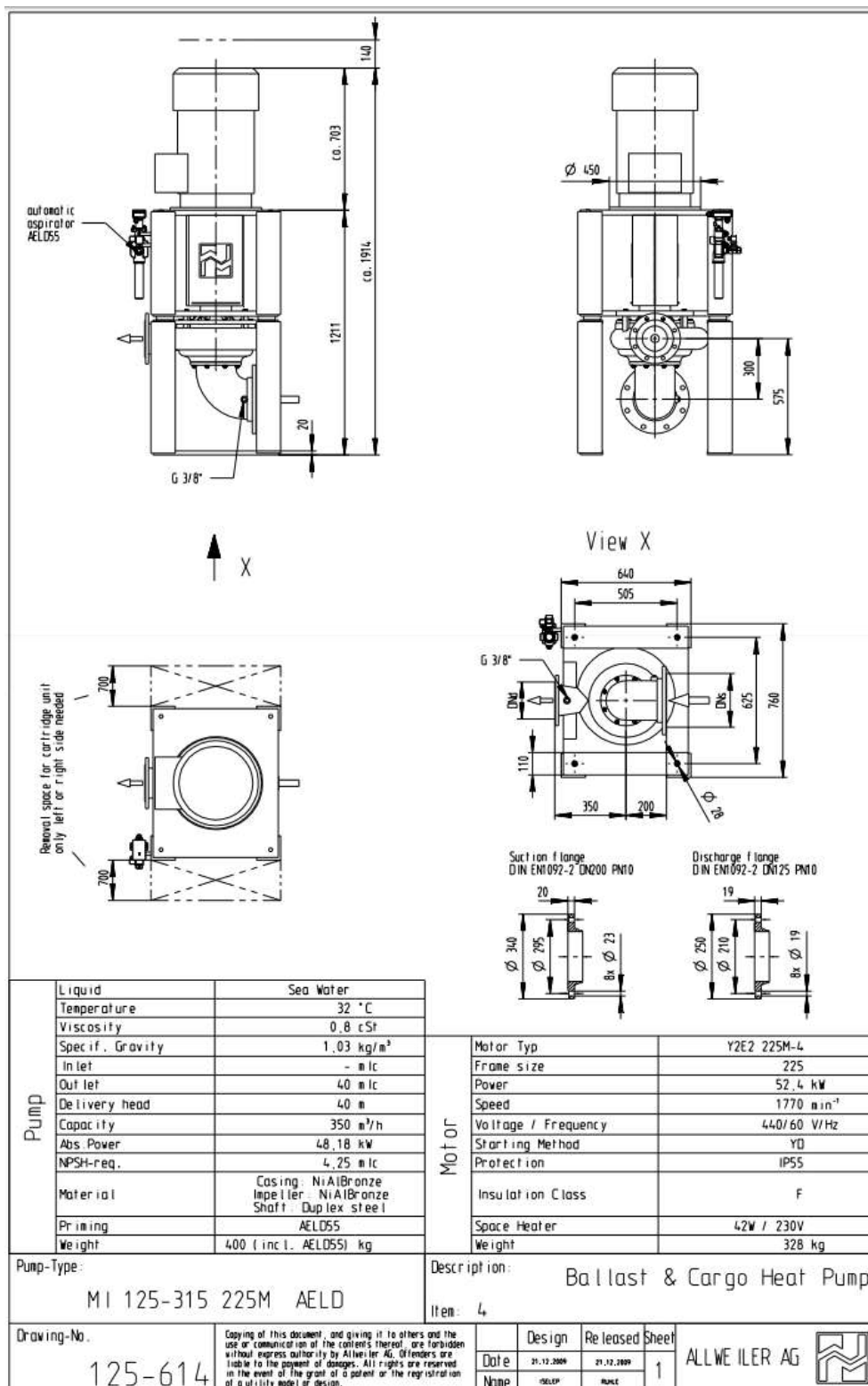
<http://neopuretech.com/advanced-oxidation-processes/>

https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/ABS-presentations/ABSSeminar_MEPC_BWMSTreatmentTechnologies_2016.pdf

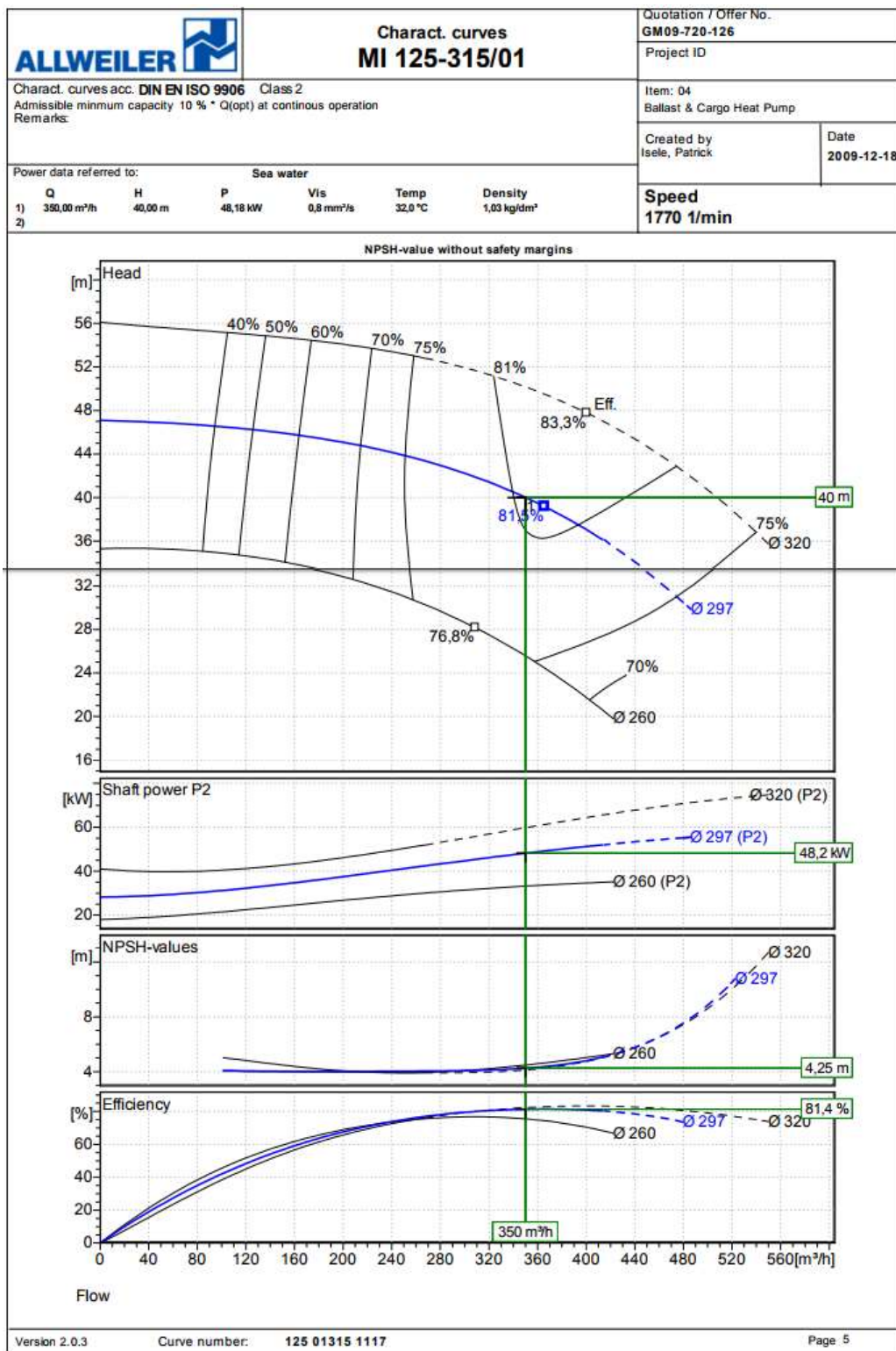
<http://www.pressure-drop.mobi/>

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN



“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”



“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

OceanDoctor® approval

IMO final approval



The OceanDoctor® BWMS was granted the final approval by IMO at the 65th meeting of Maritime Environment Protection Committee (MEPC) which was held from 13 to 17 May 2013.

Type approvals received and in process



“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

OceanDoctor® principle



OceanDoctor® BWMS uses a combination of filtration and disinfection with UV irradiation and photo-catalytic oxidation (hereafter concisely referred to as Advanced Oxidation Technology, which is short for AOT) to treat the ballast water, the treated discharge meets the standards as set out in regulation D-2 of International Convention for the Management and Control of ship's Ballast Water, and meets the standards as prescribed by the USCG as well.

■ Filtration

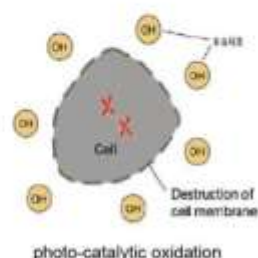
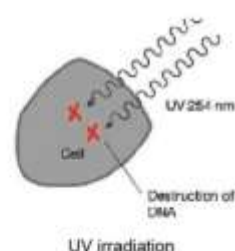
Automatic backflushing filter is used to prevent large particles, organisms greater than or equal to 50µm in minimum dimension from entering the ballast tank.

■ UV irradiation

Low pressure UV disinfection: DNA, RNA, and proteins in organisms absorb the UV lights when exposed to UV in the specific spectrum range; the formation of new DNA or RNA chains in the process of cell replication mycosis is inhibited, thus resulting in the affected micro-organism's inactivation of the ability to replicate.

■ Photo-catalytic oxidation

Hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$) will be produced on the surface of the photo-catalytic nano film when it is exposed to UV lights. The hydroxyl radical is a powerful oxidant which can react with H in the cell membrane of the organisms and break up the cell membrane, further rupture substances such as protein, carbon hydrates and DNA of organisms; and at the same time, it decomposes the organic nutrients needed for growth and regeneration by organisms and suppresses the growth of organisms. As a consequence, organisms like algae, bacteria and virus are inactivated.



“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

OceanDoctor® advantage

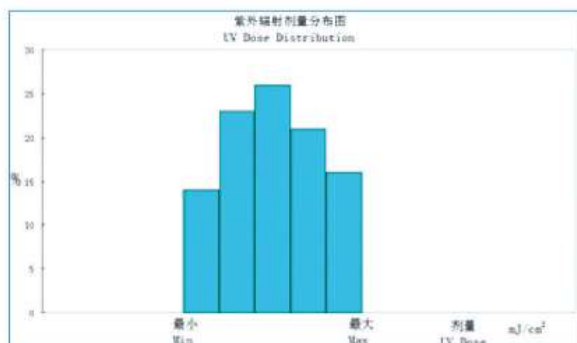
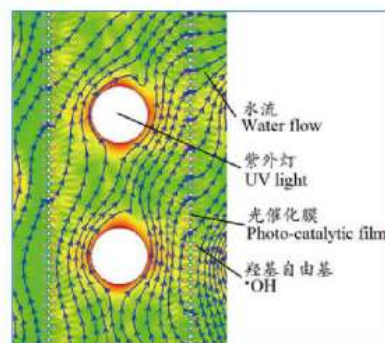


Illustration of the UV dose distribution



The coupled simulation of UV irradiation field and flow field

The land-based test to OceanDoctor® BWMS was conducted at the Ballast Water Detecting Lab of Shanghai Ocean University under the survey of CCS from August to October 2012; the test results are shown in the table below:

Test project	Organism size group	Unit	Influent	Treated water (0 day)	Treated water (5 day)	IMO and USCG standard	California standard
Land based test	≥50μm	viable org./m³	1.52×10 ⁵	3	0	<10	0
	10-50μm	viable org./ml	2.12×10 ³	3.9	0	<10	<0.01

■ Great biological efficacy

- ◆ One stage treatment, high disinfection efficiency;
- ◆ No required holding time for the disinfection to take effect, treated water could be discharged directly at anytime.

■ Environment benign

- ◆ No chemical substance is added during the disinfection treatment;
- ◆ Treated water imposes no adverse effect to the ocean environment; there is no increased corrosion to the ship, and no harmful risk to the ship and its crew.

■ Low operating and maintenance costs

- ◆ Combined effect of UV disinfection and photo-catalytic oxidation which is contributive to high efficient treatment with low power consumption;
- ◆ Essential components are likely to be in use throughout the working life of the vessel.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Denpasar, Bali, pada tanggal 19 Agustus 1994. Penulis merupakan anak ke pertama dari 2 bersaudara. Penulis yang akrab disapa Angga (SD), Putu (SMP-SMA), dan Dewangga (Kuliah) telah menempuh pendidikan formal antara lain SDK Pecinta Damai (2000-2006), SMPN 5 Surabaya (2006-2009), SMA DAPENA Surabaya (2009-2012). Setelah menyelesaikan pendidikan SMA pada tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi. Diterima di jenjang S1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2012 melalui jalur Mandiri. Selama masa perkuliahan penulis aktif

dalam kegiatan akademik maupun non-akademik. Penulis aktif sebagai pengurus di Tim Pembina Kerohanian Hindu (TPKH) selama tahun pertama dan kedua perkuliahan. Penulis mulai berfokus pada bidang *Marine machinery and System* (MMS) pada tahun terakhir perkuliahan kemudian mengambil skripsi dalam lingkup bidang tersebut.